أساسيات فى

تغذية النبات

تـأليــف

الدكتور/ طلعت رزق البشبيشى

أستاذ الأراضى وتغذية النبات المساعد

كلية الزراعة - جامعة المنيا

الدكتور/ محمد أحمد شريف

أستاذ الأراضى وتغذية النبات المساعد

كلية الزراعة - جامعة المنيا

رقم الإيداع : ١٣٧٢٥ / ٩٧

الترقيم الدولى : I . S . B . N

977 - 5526 - 78 - 7

الطبعة الأولى

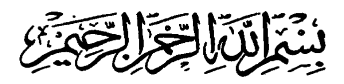
١٤١٩هـ - ١٩٩٨م

دار النشر للجامعات - مصر

١٦ ش عدلى - الدور الثالث - القاهرة

ص . ب ١٣٠ محمد فريد - ت: ٣٩٣١٤٣٤ - فاكس: ٣٩١٢٢٠٩

أساسيات في
تغذية النبات



مقدمة

بدأ النبات حياته وسيظل - إلى ما شاء الله - معتمداً على ما تقدمه له التربة من تهوية لجذوره، وتجهيز لعناصره المغذية تحت مظلة الغلاف الجوى المحيط به، والمناخ السائد حوله وما يقدماه له من ضوء وأشعة الشمس ومياه المطر وغاز النيتروجين الذى يثبت جزء منه فى التربة، وغاز ثانى أكسيد الكربون اللازم لعمليات التمثيل الضوئى، وهذه العناصر فى مجملها هى مقومات نمو النبات فى كل زمان وأى مكان. فإذا كانت عناصر الغلاف الجوى والمناخ عناصر كونية لا دخل للإنسان فيها إلا فى حدود ضيقة، فإن عنصر الأرض ومحتواها من عناصر التغذية قابل للنشاط الإنسانى بشكل كبير وهى الأساس لعلم تغذية النبات.

وتغذية النبات بشكل يضمن الحصول على أعلى إنتاج ممكن من أى أرض تزرع أصبح أمراً ضرورياً إن لم يكن حتمياً. فزيادة السكان بمعدلات لا تتناسب مع معدلات زيادة رقعة الأرض الزراعية أحدث فجوة كبيرة بين الإنتاج والاستهلاك وبصفة خاصة فى محاصيل الحبوب. هذا الأمر أدى إلى البحث عن أصناف عالية الإنتاج باستخدام أساليب التربية المختلفة، وباستخدام الهندسة الوراثية بالإضافة إلى زيادة معدلات التكثيف الزراعى وذلك فى محاولة لتقليل معدلات الاستيراد وخاصة فى محصول القمح الاستراتيجى. إن التكثيف الزراعى بمحاصيل عالية الإنتاجية تستنزف قدراً كبيراً من عناصر التغذية الأرضية فى حالة زراعتها فى أراضى الوادى والدلتا، فما بالنا عندما تكون الزراعة فى الأراضى حديثة الاستصلاح الفقيرة أصلاً فى محتواها من العناصر الغذائية أو التى تعانى من مشاكل حادة تؤثر على تيسر هذه العناصر الغذائية للنبات. فإذا أضفنا إلى ذلك حرمان أراضى الوادى والدلتا من طمى النيل الغنى بالعناصر الغذائية منذ بناء السد العالى فى الستينات، والذى كان يعوض بعضاً من هذا النقص، بالإضافة إلى عدم الاهتمام بإضافة الأسمدة البلدية، والتى قل إنتاجها من جانب الفلاح لتغير نمط تربية ثروته الحيوانية، كل هذا أوجب ضرورة التغذية المتزنة للمحاصيل المختلفة.

وهذا الكتاب «**أساسيات فى تغذية النبات**» يهدف إلى التعريف بالأسس العلمية والنظرية للأرض، وخصائصها، والتفاعلات الحادثة بها، وعلاقتها بتيسر العناصر الغذائية وكيفية امتصاص النبات لها، والحدود الحرجة للعناصر الغذائية فى التربة وفى داخل النبات ودور هذه العناصر فى العمليات الحيوية من تخليق وبناء، وما يترتب عليها فى حالة النقص والزيادة وكيفية علاج مثل هذه الحالات.

كما يهدف الكتاب أيضًا إلى إبراز علم تغذية النبات كفن نستطيع من خلاله زراعة النباتات وتغذيتها بعيداً عن الأرض الطبيعية وظروفها وتفاعلاتها التى قد تكون عائقًا ومحددة لنمو النباتات بها، وهو ما أصبح علمًا يعرف «بالزراعة اللاأرضية» والذى من خلاله يمكن زيادة الإنتاج بدون استخدام أرض صالحة أو غير صالحة للزراعة باستخدام تقنيات حديثة ومبتكرة تستخدم كميات من المياه ومن الأسمدة أقل مما يمكن استخدامه فى الزراعة بالأراضى الخصبة.

ونأمل أن يكون هذا الجهد المتواضع إضافة إلى المكتبة العربية يستفيد منه الطلاب والباحثين فى الكليات والمعاهد الزراعية والعاملين فى مجال الإنتاج الزراعى فى مصر وعالمنا العربى... والله ولى التوفيق.

غرة رمضان ١٤١٨ هـ

الموافق ٣٠ ديسمبر ١٩٩٧م

المؤلفان

محتويات الكتاب

الفصل الرابع

الفصل الخامس

الفصل السادس

الفصل السابع

الفصل الثامن

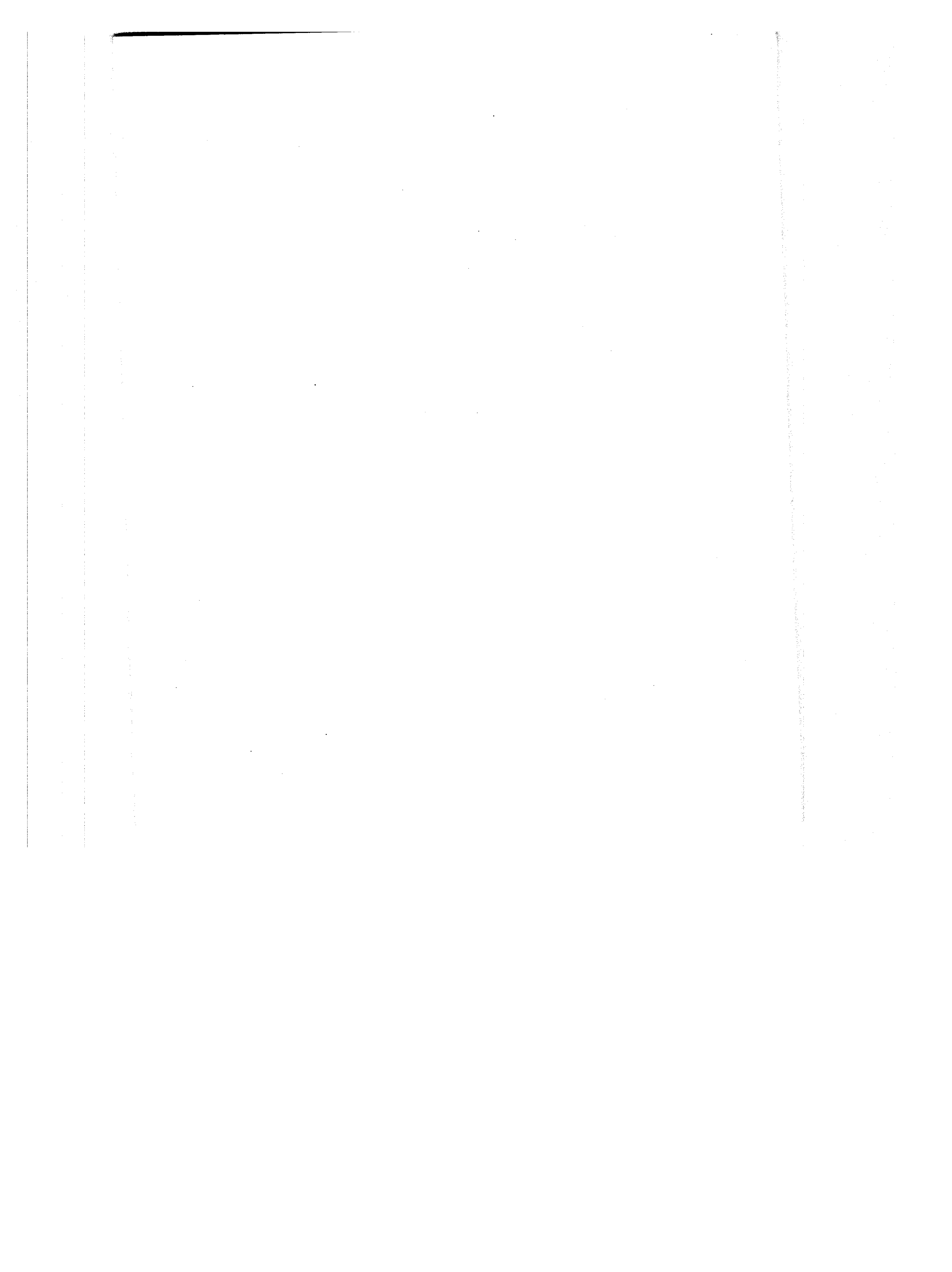
الفصل التاسع

الفصل العاشر

الفصل الأول

علم تغذية النباتات

Plant Nutrition



علم تغذية النباتات

Plant Nutrition

موقع علم تغذية النبات من العلوم الأخرى

تقسم العلوم عامة إلى علوم أساسيه بحتة Fundamental Sciences وهى التى تهدف إلى معرفة سر الكون وظواهره المختلفة والأسباب التى أدت إلى هذه الظاهرة وعلاقة هذه الظواهر ببعضها ومن أمثلة ذلك: علوم الكيمياء - الطبيعة - الرياضة - الحيوان - النبات والوراثة ...... إلخ. أما العلوم التطبيقية Applied Sciences فتهدف فى دراستها إلى تطبيق العلوم البحتة السابق ذكرها مثال ذلك العلوم الزراعية (علوم المحاصيل - الألبان - الصناعات الغذائية - أمراض النبات - الإنتاج الحيوانى - الحشرات - مبيدات الآفات - المجتمع الريفى - الاقتصاد الزراعى علوم الأراضى Soil Sciences).

وتنقسم علوم الأراضى إلى: **علوم أساسية**، أيضاً تهتم بدراسة الأرض كجسم طبيعى يطلق عليه البيدولوجى Pedology، ويندرج تحته علوم مورفولوجيا الأراضى Soil morphology - تقسيم الأراضى Soil classifcation حصر الأراضى Soil survey وتصنيف الأراضى Soil toxonomy.

علوم تطبيقية، تدرس مدى صلاحية الأرض للنبات والعمل على توفير الظروف الملائمة للإنتاج، ويطلق عليه الإيدافولوجى Edaphology ويشمل معظم علوم الأراضى مثل: كيمياء الأراضى Soil chemistry طبيعة الأراضى Soil physics. أيضاً يشمل علم خصوبة الأراضى Soil fertility والذى يهتم بدراسة التفاعلات الطبيعية والكيميائية التى تسلكها العناصر فى الأرض حتى تصبح فى صورة صالحة للنبات. وفى نفس الوقت يدرس علم الإيدافولوجى امتصاص وانتقال العناصر من الأرض إلى النبات وهو مضمون علم تغذية النبات Plant nutrition. وعلى هذا فعلم تغذية النبات هو احد فروع العلوم الزراعية التطبيقية الذى يختص بدراسة الأرض وخصائصها

والتفاعلات الحادثة بها وعلاقتها بالنباتات النامية عليها والتى تهدف إلى محاولة تحسين إنتاجية هذه النباتات كماً ونوعاً.

هذا بجانب علوم أخرى مثل: صيانة الأراضى Soil conservation، علم إدارة الأراضى Soil management والذى يهتم بدراسة العمليات الزراعية التى تحافظ على البناء المرغوب للأرض وتحرك الماء الأرضى والتسميد وإصلاح الأراضى.

الأرض كبيئة لنمو النبات Siol as a medium for plant growth

على الرغم من أن كلمة تربة Soil تشير إلى الطبقة السطحية المجواة والمفككة من القشرة الأرضية والصخور الصلبة، إلا أنها كالعديد من الكلمات الشائعة الاستخدام فى الحياة العامة يتم تفسيرها بأكثر من طريقة وبأكثر من أسلوب. فالرجل العادي ينظر إلى الأرض على أنها شيء مرسل يطلق عليه «التراب» منتشر على سطح الكرة الأرضية، والمرأة العادية تنظر إليها على أنها ذلك الشيء الذى يعلق بحذائها أو يتطاير ليتراكم على أثاث شقتها ويحتاج إلى الإزالة والتنظيف، والمهندس المدنى ينظر إلى الأرض على أنها مكان إقامة المنشآت، بينما تعنى الأرض بالنسبة للجيولوجى بأنها المواد الجيولوجية الناتجة من تحلل الصخور والمعادن الأرضية، وبالنسبة للفلاح فهى البيئة التى تنمو فيها المحاصيل. وتعتبر هذه التعريفات محدودة المفهوم حيث إن الأرض كظاهرة تشمل مزيدا من التفصيلات أشار إليها اثنان من علماء الأراضى وهما: دوكيوشيف Dokuchiev الروسى، وهليجارد Hilgard الأمريكى. وقد أشار كل منهما – مستقلا عن الآخر – إلى أن الأرض جسم معقد يتميز بالديناميكية عند سطح القشرة الأرضية ويرتبط بشكل عام مع ظروف المناخ.

وهناك وصف مقبول لما تعنيه كلمة تربة والذى وضع كتعريف عام ذكر فى دليل حصر الأراضى Soil Survey Manual سنة ١٩٥١، وتقسيم الأراضى Soil Taxonomy سنة ١٩٧٥، وعرف الأرض أو التربة Soil على أنها عبارة عن «كتلة طبيعية متجمعة على سطح الكرة الأرضية، وتحتوى على المادة الحية، وتقوم بتدعيم النباتات ولها من الصفات والخصائص التى تختلف عن طبقة الصخور الواقعة تحتها كنتيجة لتفاعلات متداخلة خلال وحدة الزمن والمناخ فى وجود الكائنات الحية الدقيقة، ومادة الأصل وطبغرافية المكان».

هذا التعريف يأخذ فى الاعتبار الشكل الطبيعى للأرض، والعديد من التفاعلات المختلفة والتي تعمل كعوامل تكوين للأراضى. ولذلك فالتربة عبارة عن مادة شديدة التعقيد تتكون من الحبيبات المعدنية الناتجة من تجوية الصخور، وأخرى عضوية ناتجة من تحلل المادة العضوية، والكائنات الحية الدقيقة بالإضافة إلى الماء والهواء الأرضى. والتربة الجيدة تأخذ عدة مئات من السنوات حتى تتكون نتيجة التفاعلات المختلفة بالصخور تحت ظروف الحرارة والماء والعوامل البيولوجية، بالإضافة إلى تحلل البقايا النباتية والحيوانية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة والحيوانات الأرضية، وعلى ذلك تنشأ أرض مختلفة فى صفاتها الكيميائية الأمر الذى يؤدى إلى تغير صفات التربة باستمرار. وحيث إن هناك اختلافات كبيرة فى نوعية الصخور والنموات النباتية والمناخ وطبغرافية السطح، بالإضافة إلى اختلاف فترة نشاط عمليات التكوين من مكان إلى آخر؛ وعلى ذلك يكون من المتوقع تكوين أراضى تختلف كثيراً فى مكوناتها وصفاتها من حيث التركيب واللون والقوام. فالقطاع الأرضى لبعضها يكون عميقاً، وللبعض الآخر يكون سطحياً.

وتعتبر الأرض الزراعية Soil المهد الطبيعى لنمو النبات، وفيها تمتد جذوره وتتعمق باحثة عن الماء والغذاء، وبالتالى يتأثر نمو النبات بخواص هذا المهد وقدرته على إمداد النبات باحتياجاته من العناصر الغذائية المختلفة بالكميات المناسبة وفى الوقت المناسب.

مكونات النظام الأرضى Components of the Soil system

تتركب الأرض من ثلاثة مكونات رئيسية وهى:

أولاً: الطور الصلب Solid phase: والمتمثل فى مخلوط مختلف التركيب من معادن مختلفة فى درجة تجويتها والناتجة من عمليات التجوية الطبيعية والكيميائية والحيوية للصخور الأصلية، وكذلك من مواد عضوية ناتجة من تحلل بقايا النباتات والحيوانات والكائنات الدقيقة.

ثانياً: الطور السائل Liquid phase: والذى يعبر عنه بالمحلول الأرضى Soil solution، وهو المحلول الناتج عن إذابة المواد السهلة الذوبان سواء كانت عضوية أو معدنية والموجودة فى الأرض عند تعرضها للماء.

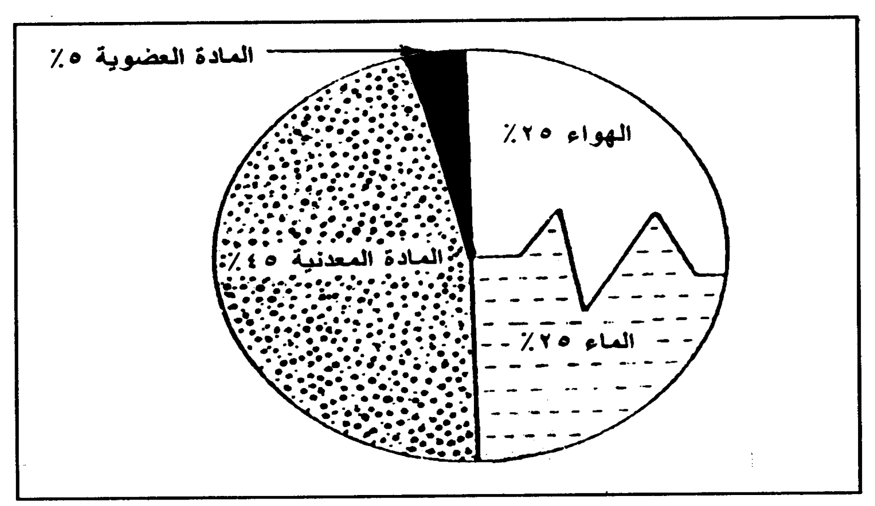
ثالثاً: الهواء الأرضى ويطلق عليه أيضا الطور الغازى Gaseous phase

ويمثل شكل (١-١) النسب التقريبية للمكونات الثلاثة السابق ذكرها، وتتكون هذه النسب فى أرض طميية سلتية Silty loam تحت الظروف المثلى لنمو النبات، ٥٠٪ جزء صلب (٤٥٪ معدنى، ٥٪ عضوى) بالحجم، والـ ٥٠٪ الأخرى عبارة عن المسافات البينية بين الحبيبات Pore spaces وهى ممتلئة بالماء والهواء. وعند الظروف المثلى لنمو النبات تكون المسافات البينية بين الحبيبات نصفها (٢٥٪من الحجم الكلى للأرض) مملوء بالماء والنصف الآخر مملوء بالهواء.

وبصفة عامة نجد أن حجم الجزء الصلب يمكن أن يزداد أو يقل حسب وجود المادة العضوية، ويرجع ذلك لأن كثافة المادة العضوية قليلة حيث تكون فى العادة أقل من ١جم/سم٣، وبالتالى يكون حجمها كبير، وعلى هذا يمكن أن يتغير حجم الجزء الصلب على حساب المسافات البينية. وفى نفس الوقت أيضا يمكن تغيير حجم الجزء السائل على حساب الجزء الغازى والعكس. وعلى هذا يمكن أن يحدث تغير طفيف فى نسب هذه المكونات من أرض إلى أخرى، وفى نفس الوقت من زمن إلى آخر لنفس الأرض.

وعموما يكون التغير ملحوظاً فى حجم الطور السائل والطور الغازى، وفى نفس الوقت يحدث هذا التغير بسرعة تحت الظروف الطبيعية المؤثرة فى التربة مثل: المناخ - طور النمو فى النبات - الرى وعمليات الخدمة وخلافه. وبصفة عامة تتواجد هذه المكونات الثلاثة للأرض فى حالة تداخل واختلاط شديد مع بعضها البعض مما يؤدى إلى كثرة التفاعلات داخل كل مكون، أو بين المكونات بعضها البعض مما ينشأ عنه تغيرات محسوسة فى الظروف المحيطة بنمو النبات.

ومن الطبيعى أن تكون الكمية الممتصة من العناصر الضرورية للنبات متوقفة على كميتها فى التربة وبالتالى الصورة التى تتواجد عليها فى الأطوار الثلاثة المكونة للنظام الأرضى. وعلى هذا سوف نتناول صور تواجد العناصر فى كل مكون من المكونات السابقة:



شكل (١-١): مكونات الطبقة السطحية للتربة الزراعية حجماً

صور تواجد العناصر فى الطور الصلب

يعتبر الطور الصلب بما يحتويه من حبيبات معدنية وعضوية هو المصدر الرئيسى لمعظم المغذيات النباتية. وتمثل المادة المعدنية حوالى ٩٥٪ من وزن الجزء الصلب فى الأراضى المعدنية، وهذه المادة المعدنية تنتج من عمليات التجوية الطبيعية والكيميائية والحيوية للصخور والرواسب التى تتكون منها الأرض، وعلى ذلك فهى تعكس الصفات الخاصة لصخور مادة الأصل التى نشأت منها.

والتركيب الكيميائى العام للصخور والمعادن توضحه البيانات المدونة فى جدول (١-١)، ومنها نلاحظ أن ٨ عناصر فقط من مجموع العناصر الكيميائية والبالغ عددها ٩٢ عنصراً توجد بتركيزات أكبر من ١٪، ومنها ٤ عناصر فقط.

جدول (١-١) : التركيب الكيميائي لطبقة الليزوسفير Lithosphere كنسبة مئوية بالوزن

العنصر	٪	العنصر	٪
الأكسجين	٤٦,٧	الكالسيوم *	٣,٧
السليكون	٢٧,٧	الصوديوم	٢,٨
الألومنيوم	٨,١	البوتاسيوم *	٢,٦
الحديد*	٥,١	الماغنسيوم *	٢,١
باقى العناصر وتمثل ١,٢ ٪			

* = عناصر مغذية للنبات.

تعتبر عناصر مغذية للنبات وهى الحديد، الكالسيوم، البوتاسيوم، والماغنسيوم، بينما باقى العناصر المغذية للنبات فتتواجد بكمية أقل من ١,٠٪، فمثلاً الفوسفور وهو أكبر العناصر توافراً فى التربة يتواجد بتركيز حوالى ٠,١٪. وهنا يجب التأكيد بأن لا يوجد نيتروجين إطلاقاً داخل التركيب الكيميائى للصخور والمعادن الأرضية، بينما يوجد فقط فى مكونات المادة العضوية بالتربة.

وعموما لا تتواجد العناصر الغذائية فى صورة منفردة فى الأرض، بل تتواجد فى صورة مركبات كيميائية معدنية وعضوية.

ويمكن تقسيم هذه المركبات إلى :

أولا : المعادن الأولية : **Primary Minerals**

وهى المعادن السائدة فى الجزء الخشن من الأرض كالسلت والرمل (٠,٠٢ - ٠,٠٥مم)، وهذه المعادن تنتج من تفتت الصخور بفعل عوامل التجوية الطبيعية والتى لم يتغير تركيبها الكيميائى عما كانت عليه فى الصخر الأصلى.

وترجع أهمية هذه المعادن إلى أنها مخزن لبعض العناصر الغذائية التى يحتاجها النبات. وبتعرض هذه المعادن للتجوية الكيميائية (مثل: الذوبان - التحلل المائى - الكربنة) تنطلق العناصر الغذائية الموجودة بها إلى المحلول الأرضى على صورة ميسرة

للامتصاص بواسطة النبات . والمعادن الشائعة فى التركيب المعدنى للسلت والرمل هى :

أ - معادن سليكاتيه :

وهذه المعادن منها :

١ - **الكوارتز SiO2** : وهو صعب الذوبان جداً . ومقاوم للتعرية ويكون حبيبات مفردة . ولا تحتوى على أى عناصر غذائية ولكنها تُسهم فى تكوين الهيكل العام للأرض .

٢ - **معادن الفلسبارات Feldspars** : وهى تشكل نسبة كبيرة من المعادن المكونة للصخور ، وتختلف الفلسبارات فى تركيبها حسب نوع القواعد الموجودة فيها سواء كانت بوتاسيوم مثل : الاورثوكلاز $K\ Al\ Si_3O_3$ وهو مقاوم للتعرية ، ولكن يتأثر بالتحلل المائى ويكون مصدراً للبوتاسيوم فى الأرض . والبلاجيوكلاز Plagioclase ويعرف باسم الفلسبارات الصودية الكالسية وتشمل البيت $Na\ Al\ Si_3O_3$ وهو قابل للتعرية بسرعة عن الأرثوكلاز ، والأنوروثيت $Ca\ Al\ Si_2O_8$ ويعتبر من مصادر الكالسيوم فى الأرض .

٣ - **معادن الميكا Micas** : وهى تتبع مجموعة السليكات الورقية والصفائحية ومنها ميكا مسكوفيت Mica muscovite ورمزها الكيميائى $K(Si,Al)$ $4AL_2O_{10}(OH)_2$ وتسمى بالميكا البيضاء ، وعند تحللها تعطى معادن الطين وعنصر البوتاسيوم ، ومنها أيضا » الميكا السوداء Mica biotite ورمزها الكيميائى $K(Si,Al)_4(Fe,Mg)_3O_{10}(OH)_2$ ولونها غامق ، وعند تحللها ينطلق منها البوتاسيوم والحديد .

٥ - **الأوليفينات Olivines** : ورمزها $(Mg,Fe)\ SiO_3$ وعند تحللها تعطى معادن طين غنية بالحديد ، ونظراً لسهولة تجوية هذه المعدن فإنها تُسهم فى خصوبة الأراضى التى تتواجد بها ومن الأوليفينات الفورستريت (سليكات ماغنسيوم) والفيالايت (سليكات حديدوز) .

٦ - **التورمالين Tourmaline** : ورمزها $Na(Mg,Fe)_3Al_6(BO_3)_3$ ويعتبر هذا المعدن ذا أهمية خاصة من وجهة نظر كيمياء الأراضى وتغذية النبات لاحتوائه على عنصر البورون .

ب – المعادن غير سليكاتيه :

وتشمل هذه المجموعة ما يلى :

١ – **معادن الكبريتات والكبريتيدات :** ومن أهمها الجبس Gypsum ورمزه الكيميائى $CaSO_4 . 2H_2O$ ويتراكم فى أراضى المناطق الجافة وشبه الجافة. ومن أمثلة الكبريتيدات معدن Pyrite (كبريتيد حديد FeS_2) وهو مصدر للحديد والكبريت.

٢ – **معادن الفوسفات :** وأشهرها معادن مجموعة الأباتيت Apatite group وتركيبها العام $Ca_{10}(F,OH)_2(Po_4)_6$ وهى المصدر الأساسى للفوسفات فى الأرض.

٣ – **معادن الكربونات :** وأكثرها شيوعا « فى الأراضى الكالسيت $CaCO_3$ والماغنيسيت $MgCO_3$ والدلوميت $(Ca,Mg(CO_3)_2$ والسيدريت $FeCO_3$ ولكنها أقل شيوعا ». وهذه المركبات قليلة الذوبان فى الماء وتذوب نسبياً فى المحاليل الحمضية، وتعتبر مصدراً للكالسيوم والماغنسيوم.

٤ – **الأكاسيد والأيدروكسيدات :** وهى تكون فى صورة مساحيق مغلفة لحبيبات الرمل والسلت والطين. ومن أمثلة المعادن التى تتواجد فى الجزء الخشن من الأرض، أكاسيد الألومنيوم مثل: الكوراندم AL_2O_3، الهيماتيت Fe_2O_3، الجناتيت Fe_2O_4 وهذا المركب يكسب الأرض اللون الأحمر.

ثانيا : المعادن الثانوية Secondary Minerals

وتشمل المعادن التى تنتج من التجوية الكيميائية للمعادن الأولية، وعلى ذلك فيكون لها تركيب كيميائى جديد، وتتواجد هذه المعادن غالباً فى الجزء الناعم من الأرض والذى يقل قطر حبيباته عن ٢ ميكرون. ويطلق على هذا الجزء الناعم من الأرض اسم الطين Clay.

ويتركب الطين من حبيبات تختلف فى تركيبها الكيميائى والمعدنى، وتنتمى إلى أكثر من مجموعة من المركبات والمعادن المختلفة. وجدول (١–٢) يوضح باختصار تركيب وصفات هذه المجموعات. وترجع أهمية المعادن الثانوية إلى زيادة سطحها النوعى، والذى يحمل شحنات كهربائية تكون الغالبية العظمى منها سالبة، والذى

جدول (١-٢) : تركيب وصفات أهم معادن الطين

المعدن ⇐ الصفة ⇓	الكاؤلينيت	الإيلليت	المعادن المتحولة	الفيرميكيوليت	المونتموريللونيت	الكلوريت ١:١:٢
نوع المعدن ⇐ تركيب الطبقات ⇐	١:١ Si Al	١:٢ Si, Al Al, Fe, Mg Si, Al				Si, Al Al, Fe, Mg Si, Al Al, Fe, Mg
موقع الإحلال المتماثل	–	أساسا فى طبقة التتراهيدرا			أساسا فى الأوكتاهيدرا	فى التتراهيدرا والأوكتاهيدرا
مقدار شحنة الوحدة	صفر تقريبا	٠,٩٠ – ٠,٦٦			٠,٦٠ – ٠,٢٥	صفر تقريبا
القدرة على التمدد	–	–	+	++	+++	–
وجود أسطح داخلية	–	+	++	+++	+++	–
سعة إدمصاص الماء	+	+	++	+++	++++	+
سعة إدمصاص الأيونات	+	++	+++	++++	+++	+
قدرة حجز البوتاسيوم	–	–	+++	+++	+	–
الليونة والإلتصاق	+	+	++	+++	+++	+

يدمص عليها الكاتيونات الغذائية، ويمكن لهذه الكاتيونات أن تنطلق إلى المحلول الأرضى عن طريق عملية التبادل الأيونى. وعلى ذلك نجد أن المعادن الثانوية تتحكم فى تركيز الأيونات المختلفة فى المحلول الأرضى، وبالتالى السعة التبادلية الكاتيونية والتى لها دور أساسى فى تغذية النبات.

مصادر الشحنة السالبة على أسطح الطين:

١ - الإحلال المتماثل Isomorphous substitution

ويعتبر المصدر الرئيسى للشحنة السالبة لمعادن الطين. وهو إحلال كاتيونات ذات تكافؤ أقل محل كاتيونات أخرى ذات تكافؤ أعلى فى الوحدة البلورية للمعدن مما يجعل صافى الشحنة سالب (لأن صافى الشحنة للبلورة قبل الإحلال متعادل).

وعادة لا تتأثر هذه الشحنة بالعوامل الخارجية مثل درجة الـ pH فى المحلول الخارجى مما يجعل هذه الشحنات من النوع الثابت. والإحلال الشائع هو إحلال الألومنيوم الثلاثى محل أيون السليكون الرباعى فى طبقة التتراهيدرا، وكذلك إحلال الماغنسيم والحديد الثنائى محل الألومنيوم فى طبقة الأوكتاهيدرا. والشحنة السالبة الناتجة فى الحالة الأولى تكون قريبة من السطح، بينما فى الحالة الثانية تكون بعيدة عنه، ولذلك يعتقد أن الأيونات المدمصة على أسطح المعادن تكون ممسوكة بقوة أكبر إذا كان مصدر الشحنة هو طبقة التترا هيدرا كما هو الحال فى معدن الميكا والفيرميكيولايت، وتكون ممسوكة بقوة أقل إذا كان مصدر الشحنة هو طبقة الأوكتاهيدرا.

كذلك يعتبر الإحلال المتماثل المصدر الأساسى للسعة التبادلية الكاتيونية فى معادن (١:٢) مثل المونتيموريللونيت والفيرميكيولايت، أما مجموعة (١:١) ومنها الكاؤولينيت فتتميز بانخفاض شحنتها نظراً لعدم وجود إحلال متماثل فى وحداتها البنائية.

٢ - الروابط المكسورة Broken bonds

عند تكسير المعدن إلى حبيبات صغيرة فإننا نجد أن الروابط الموجودة على الحواف تصبح غير مشبعة، وبزيادة عدد هذه الروابط المكسورة تزداد السعة التبادلية الكاتيونية الناشئة عنها، وهذا المصدر هو المسئول عن السعة التبادلية الكاتيونية لمعادن الكاؤولينيت والهالوسيت والأليت.

٣ - تأين الأيدروجين

يحدث ذلك فى مجموعة الأيدروكسيل المعرضة على سطح المعادن والناتجة من الروابط المكسورة. أما مجاميع الأيدروكسيل الموجودة فى بناء المعدن فمن الصعب حدوث تأين لها.

٤ - العيوب البلورية

وهى عيوب تنتج أثناء بلورة المعادن فى محاليل لاتحتوى على كميات متكافئة من الكاتيونات أو الأنيونات، ويؤدى ذلك إلى امتصاص سطحى لبعض الأيونات الأخرى مما يؤدى فى النهاية إلى تكوين شحنة على البلورة قد تكون سالبة إذا حدث زيادة فى امتصاص الأنيونات عن الكاتيونات، أو تكون موجبة إذا حدث العكس. وتعتبر أهمية هذا المصدر للشحنة السالبة قليل جداً.

٥ - الشحنة المتوقفة على الـ pH

حيث تزداد الشحنات أو تقل حسب رقم pH الوسط فتزداد الشحنة السالبة وتنخفض الشحنات الموجبة فى الوسط القلوى بزيادة تأين المجاميع الحامضية ونقص اكتساب البروتون H^+ إلى المجاميع القاعدية. وفى حالة انخفاض رقم pH الوسط فإن الشحنة تسلك عكس هذا المسلك، أى زيادة الشحنة الموجبة ونقص الشحنة السالبة كما هو موضح فى المعادلات.

تحت ظروف الاراضى القلوية :

$$Si - Caly - OH + OH^- \Rightarrow Si - Caly - O- + H_2O$$

سطح الطين السليكاتى   سطح الطين السليكاتى

تحت ظروف الاراضى الحامضية :

$$Si - Caly - OH + H^+ \Rightarrow Si - Caly - OH_2^+$$

سطح الطين السليكاتى   سطح الطين السليكاتى

ويتضح مما سبق وجود شحنة سالبة على معظم معادن الطين أياً كان مصدرها، وهذه الشحنات السالبة لابد من توازنها، ويتم ذلك عن طريق ادمصاص الأيونات السابحة فى المحلول الأرضى، ويمكن لهذه الأيونات (كاتيونات) أن تخرج إلى المحلول الأرضى مرة أخرى مما يُكسب هذه المعادن القدرة على التبادل الأيونى . وعلى ذلك نجدأن المعادن الثانوية تتحكم فى تركيز الأيونات المختلفة فى المحلول الأرضى، وتعتبر الأيونات المدمصة مخزون أساسى لغذاء النبات .

وتختلف كميات الكاتيونات القابلة للتبادل فى الأرض باختلاف السعة التبادلية الكاتيونية والتى تتوقف على قوام الأرض، نوع معدن الطين حيث تزداد كميات الكاتيونات المتبادلة كما زادت كمية الطين فى الأرض . وأهم المعادن الثانوية التى لها أسطح نشطة هى معادن الطين ومنها الكاؤولينيت – الإليت – المونتيموريللونيت والتى تختلف فى سعتها التبادلية الكاتيونية ما بين ٣–١٥، ٣٠–٤٠، ٨٠–١٥٠ ملليمكافىء / ١٠٠جم معدن على التوالى .

ومن الجدير بالذكر أن الحبيبات الغروية، معدنية كانت أو عضوية أو معقدة (المعقد الغروى يكون ناشئ من اتحاد الطين والدبال فى مركب يطلق عليه اسم المعقد الغروى Clay-humus complex) تلعب دوراً هاماً فى تحديد الخواص الطبيعية والكيميائية للأرض، فكلما زاد مقدارها فى الأرض كلما زادت الأرض تماسكاً وقدرة على حفظ الماء وقل فقد الماء منها بالرشح والبخر، واتسعت قدرتها على اختزان عناصر الغذاء النباتى فى صورة صالحة للاستعمال . ويمكن إيجاز أهمية كمية الطين فى التربة الزراعية فى النقاط الآتية :

١ – إن الطين ذو أقطار تدخل فى حدود الأقطار الغروية، ولذلك فإن سطحه النوعى كبير جداً مما يترتب عليه زيادة كبيرة فى الماء الممتص أو المرسب على صورة ماء أيجروسكوبى، وعلى هذا تتوافر البيئة الصالحة لنمو النبات.

٢ – الطين حساس للإلكترونيات فيتجمع بها، أى أن له خواص كهروكيميائية، وعلى ذلك فإنه يدخل فى تفاعلات كيميائية هامة ذات أبعاد كبيرة فى تغذية النبات مثل تبادل الأيونات وتثبيتها.

٣ – محتوى الأرض من هذا الجزء الغروى يؤثر على الصفات والخواص الطبيعية المميزة للأرض مثل: البناء – النفاذية – التماسك – حركة الماء...... إلخ. وهذه الصفات لها تأثيرها الكبير على نمو النبات.

٤ – يدخل فى تركيب معادن الطين كثيراً من العناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات، وبالتالى فهى مصدر هام لهذه العناصر.

٥ – محتوى الأرض من الطين يكون دلالة على مدى شدة عملية التجوية الكيميائية المختلفة والتى تعرضت لها أثناء تكوينها.

٦ – السعة التنظيمية **Buffering capacity** للأرض (مقاومة الأرض للتغير فى رقم **pH** الأرض) وتتأثر بوجود الغرويات المعدنية والعضوية، مثل الطين والدبال، والتى تعمل كأحماض ضعيفة التأين، كما ترجع إلى وجود الكربونات، وخاصة مركبات الكالسيوم والماغنسيوم. والواقع أن قدرة الأرض التنظيمية تتناسب طردياً مع كمية ما بها من الطين والمواد العضوية الدبالية وكربونات الكالسيوم.

ثالثاً: المادة العضوية Organic matter

تُعتبر المادة العضوية من أهم مكونات الأرض ذات النشاط الكيميائى. ويختلف محتوى الأراضى من المادة العضوية، حيث تكون نسبتها فى أراضى المناطق الجافة ذات المناخ الحار منخفضة. وتتكون المادة العضوية من مخلفات النباتات والأحياء وأهمها الجذور والأوراق المتساقطة ومخلفات المحاصيل عند الحصاد. كذلك من الكائنات الحية الدقيقة الأرضية مثل البكتريا – الطحالب – الفطريات والديدان الأرضية وتوجد فى حالة مخلوط مع معدن التربة. وتحت الظروف الحقلية تعتبر مخلفات المحاصيل، التسميد

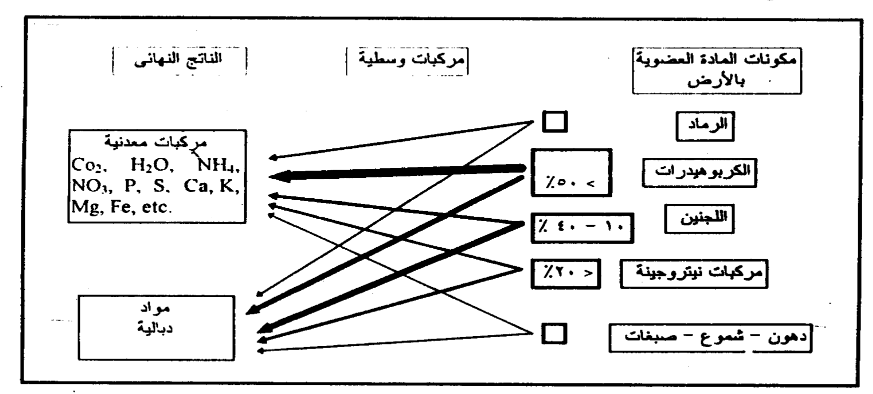
الأخضر، الأسمدة العضوية الصناعية، ومخلفات مزارع الدواجن هى المصادر الأساسية للمادة العضوية فى التربة الزراعية. ومما سبق نجد أن غالبية المادة العضوية من بقايا النباتات وعلى ذلك فهى تحتوى على جميع العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات وبنفس نسب تواجدها داخله. ويؤدى مهاجمة الكائنات الحية الدقيقة فى الأرض للمادة العضوية (والتى تستخدمها كمصدر للطاقة) إلى تغيرات فى كميات العناصر الغذائية المكونة لها وفى نسب هذه العناصر بعضها لبعض حيث تُفقد بعض العناصر مثل الكربون والاكسجين والايدروجين بكميات كبيرة، والبعض الآخر مثل النيتروجين والفوسفور والكبريت بكميات أقل. وشكل (١-٢) يوضح تركيب المادة العضوية بالأرض ونواتج تحللها عن Schroeder سنة ١٩٨٤.

وتعتبر العوامل المؤثرة على نشاط الكائنات الحية الدقيقة هى نفس العوامل التى تُعتبر محددة لتحلل المادة العضوية، وتنحصر هذه العوامل فيما يلى:

١ - طبيعة المادة الغضوية المتحللة، كنوع النبات النامى وعمره وتركيبه الكيميائى.

٢ - خواص الأرض، من حيث ملاءمتها للعمليات الحيوية، فدرجة التهوية وكمية الرطوبة بالأرض ودرجة حموضتها كلها ذات تأثير على النشاط الحيوى بها.

٣ - حالة المناخ، وأهمها درجة الحرارة وكمية المطر حيث لها تأثير مُباشر على تحلل المادة العضوية.



شكل (١-٢): نواتج عملية المعدنة للمادة العضوية وتكوين الدبال بالأرض

والناتج النهائى لتحلل المادة العضوية عبارة عن مجموعة من العناصر المعدنية بجانب مادة معقدة التركيب وبطيئة التحلل يطلق عليها اسم الدُبال Humus شكل (١-٢)، وهو عبارة عن مادة عضوية وصلت فى انحلالها إلى درجة متقدمة، وهى غير متجانسة فى تركيبها الكيميائى ذات لون متغير بين البنى الأسود وهى لا تشبه تماماً المادة العضوية الناشئة منها. ومن خصائص الدُبال أيضاً بأنها عبارة عن مادة غروية لها أسطح نشطة عليها شحنات سالبة من تأين مجاميع الكربوكسيل COOH والفينول، وعلى ذلك فإنها تدمص على سطوحها الأيونات موجبة الشحنة. ويمكن إيجاز دور المادة العضوية فى الأرض الزراعية فيما يلى:

١ - تعمل كمادة لاحمة بين الحبيبات الفردية، وبالتالى تؤدى إلى نشوء التجمعات الأرضية Soil aggregates مما يقلل من انجراف التربة الرملية وتحسن من فلاحة هذه الأرض. وبالتالى تُحسن من الصفات الطبيعية للأرض مثل: البناء - التهوية (فى الأراضى الطينية) وسهولة حركة الجذور ومرور الماء بها.

٢ - تزيد من محتوى الأرض من العناصر الغذائية، كذلك تحمى بعض العناصر من الفقد بالغسيل.

٣ - تزيد من كمية الماء الميسر للنبات وخاصة فى الأراضى الرملية والطميية حيث تزيد من قدرة هذه الأراضى على الاحتفاظ بالماء.

٤ - تعتبر مخزون للمغذيات النباتية. فمعظم النيتروجين وكثير من الفوسفور والكبريت بالأرض يكون فى صورة عضوية، ناتجة من تحلل المادة العضوية وهذه العناصر تُصبح ميسرة للنبات.

٥ - قد تكون مصدرا لبعض الهرمونات ومنظمات النمو الطبيعية للنباتات النامية.

٦- تعتبر المصدر الرئيسى لغذاء الكائنات الدقيقة الأرضية، وعلى ذلك وجودها يزيد من النشاط الميكروبى.

٧ - عند تحلل المادة العضوية فى الأرض تتكون بعض الأحماض العضوية التى لها القدرة على إذابة بعض المركبات الغذائية للنبات، كذلك بعد تحللها وتحت الظروف المختلفة ينتج غاز CO_2 والذى يتحول إلى حمض الكربونيك، وهذا الحمض له أثر قوى فى الإذابة أكثر من الماء.

٨ – يمتاز الدُبال بأن السعة التبادلية الكاتيونية له عالية. وهى ذات فائدة كبيرة خصوصاً للأرض الرملية ذات السعة التبادلية المنخفضة. كذلك وجود الدبال يُكسب الأرض لوناً داكناً، وبذلك تزداد قدرتها على امتصاص الأشعة الحرارية من الشمس مما يزيد من النشاط الميكروبى، وأيضاً يزيد الدُبال من السعة التنظيمية للأرض.



الفصل الثانى

المحلول الأرضى Soil Solution

التبادل الأيونى Ion Exchange

رقم حموضة الأرض Soil PH



المحلول الأرضى Soil Solution

يقصد بالمحلول الأرضى ذلك السائل الذى يوجد فى الأرض تحت الظروف الحقلية العادية، وهو عبارة عن محلول إلكتروليتى (ممسوك ضد قوى الجاذبية الأرضية) مخفف لأملاح $Na,K,NH_4,NO_3,HCO_3,Ca,Mg, CL,SO_4$، وكميات صغيرة لأيونات صعبة الذوبان فى الماء من أمـلاح Cu, Fe, Mn, ومركبات عضوية ذائبة لها صفات مخلبية تساهم فى زيادة نشاط صلاحية العناصر للنبات، ومواد غروية كما قد يحتوى على ملوثات عضوية أو غير عضوية كنتيجة للنشاط الإنسانى، وكل هذه المكونات السابقة تكون فى حالة اتزان متجدد مع بقية مكونات الأرض، ويعتبر المحلول الأرضى أكثر أجزاء الأرض نشاطاً، حيث يتم فيه العديد من التفاعلات الكيميائية ويكون مصدراً مُباشراً لما يحتاجه النبات من العناصر الغذائية والتى تتعدد مصادرها فى التربة (ناتج تجوية معادن الأرض– تحلل المادة العضوية– تترسب من الجو– إضافة الأسمدة– تسرب العناصر من مناطق أخرى) .

ويحفظ الماء الأرضى فى الفراغات البينية الموجودة بين حبيبات التربة والتجمعات الأرضية بدرجات متفاوتة من الارتباط، حيث يوجد قوى كبيرة للالتصاقAdhesion forces بين جزيئات الماء وحبيبات التربة، والتى تحدد بشكل كبير حركة الماء فى التربة، وبالتالى الكمية المتاحة للاستهلاك بواسطة النبات. وقوى الالتصاق هذه كبيرة للدرجة التى لاتجعل كل الماء الأرضى ميسراً للامتصاص بواسطة جذور النبات. فعند ظهور بوادر الذبول على النباتات، أو حتى تعرضها للموت فإن ذلك لايعنى أن الأرض أصبحت خالية تماماً من الماء، ولكن الماء الموجود بها عند هذه الحالة يكون ممسوكاً حول حبيبات التربة بقوة أكبر من قدرة جذور النباتات على استخلاصه وامتصاصه.

عادةً لا تمثل الكمية الذائبة من العنصر إلا كمية بسيطة من الكمية الكلية فى النظام الأرضى. فمثلاً متوسط مخزون البوتاسيوم فى الأرض حوالى ٣٠٠٠٠كجم/ فدان لعمق ١٥ سم، بينما لاتزيد الكمية الذائبة عن ١٠–٣٠كجم/ فدان فقط. وبالنسبة للفوسفور تصل الكمية الكلية فى المعادن إلى ١٠٠٠ كجم/فدان ١٥سم، ولكن

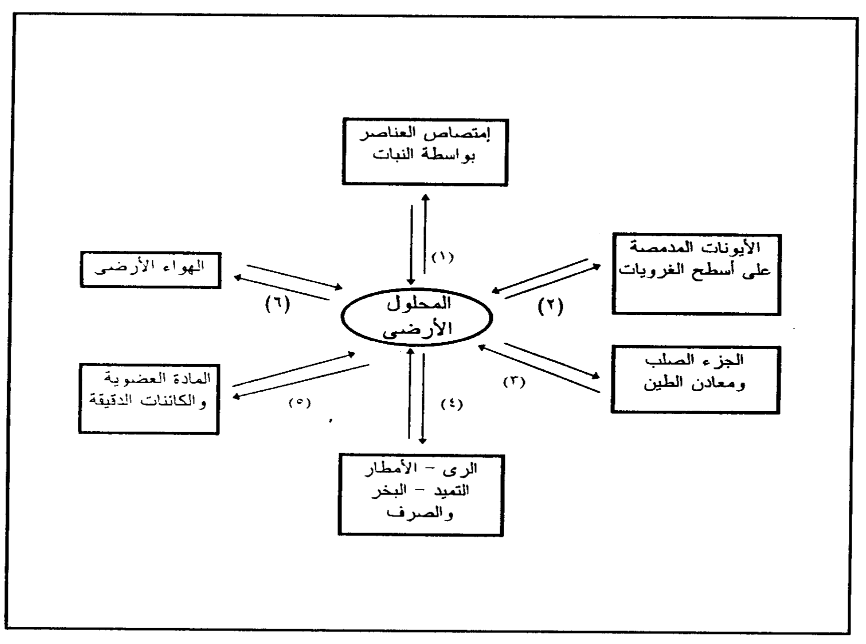
الكمية الذائبة فى المحلول الأرضى لاتزيد عن ٠,١ -١ كجم. والعكس مع الكلوريد حيث يمكن أن يتواجد جزء كبير من مخزونه الكلى الموجود فى الأرض ذائباً فى المحلول الأرضى وذلك لارتفاع درجة ذوبان مركباته (أبو الروس وآخرون سنة ١٩٩٢).

ويتوقف تركيب وتركيز المحلول الأرضى على عدة عوامل منها نسبة الرطوبة فى الأرض- نوع الأرض وعوامل تكوينها- المناخ (الحرارة والرطوبة)- والمعاملات الزراعية (رى، صرف، زراعة، تسميد)، وعلى هذا تتغير المكونات الموجودة فى المحلول الأرضى باستمرار لأنها ترتبط ارتباطاً وثيقاً بعمليات كيميائية وحيوية وبنُظم أخرى محيطة به تؤدى إلى تغير نوع وتركيز مكوناته باستمرار يوضح الرسم التخطيطى شكل (٢-١) التفاعلات بين المحلول الأرضى وكل مكون من مكونات الأرض وكلها تفاعلات عكسية (أى يحدث اتزان) ويمكن مناقشة هذه التفاعلات فيما يلى:

١- يحدث امتصاص للعناصر المغذية من المحلول الأرضى، وفى نفس الوقت يحدث انفراد لبعض المركبات العضوية البسيطة والأيدروجين وغاز ثانى أوكسيد الكربون (من جذور النباتات) الذى يذوب فى الماء ويُصبح الوسط حامضى وينتج عن ذلك ذوبان بعض مركبات الأرض الصلبة.

٢- تدخل الكاتيونات والأنيونات الموجودة فى المحلول الأرضى فى تفاعلات التبادل الأيونى، والإدمصاص على أسطح الغرويات الأرضية.

٣- حدوث انحلال وإذابة لبعض المعادن، وبالتالى تنطلق بعض العناصر إلى المحلول الأرضى أو يحدث ترسيب لبعض العناصر فى صورة معادن ويتوقف ذلك على درجة التشبع لمكونات هذا المعدن وخاصة المعادن غير المتبلورة Amorphous (إذا أصبحت مكونات المعدن فوق درجة التشبع فى المحلول الأرضى فيحدث ترسيب والعكس إذا كان المحلول تحت التشبع لهذا المعدن).



شكل (٢-١) : العلاقة بين تركيز مكونات المحلول الأرضى ومكونات الأرض الأخري

٤- مياه الأمطار والرى تُحدث تخفيف للمحلول الأرضى، بينما عمليات الصرف والتسميد والتبخير تُزيد من تركيز الأيونات به.

٥- تؤثر كل من المادة العضوية والكائنات الدقيقة الحية على مكونات المحلول الأرضى، حيث تستمد الكائنات الحية الدقيقة حاجتها من العناصر من المحلول الأرضى وأيضاً تنفرد عناصر أخرى نتيجة تحلل المادة العضوية بفعل هذه الكائنات وأيضاً تحلل هذه الكائنات بعد موتها.

٦- المحلول الأرضى فى حالة اتزان مع الطور الغازى والهواء الأرضى، فقد يحدث انطلاق لبعض الغازات الموجودة بالمحلول الأرضى إلي الهواء الجوى أو يحدث إذابة لبعض مكونات الهواء الأرضى فى المحلول الأرضى.

وعلى هذا نجد أن كل أيون ذائب فى المحلول الأرضى يكون فى حالة اتزان مع الصورة الصلبة والصورة المدمصة منه فى التربة.

والواقع أن استخلاص هذا المحلول من الأرض بحالته الطبيعية عملية عسيرة ولكنها ضرورية، لأن اختلاف كميات الماء وزيادتها عند الاستخلاص بأحد الطرق الصناعية تغير كثيراً فى التركيب الكيميائى له، ويوجد عدة طرق للحصول على المحلول الأرضى كما ذكرها (شفيق وآخرون) سنة ١٩٩٢ ونذكر منها مايلى:

١ – **طريقة العصر Squeeze Method**: وذلك بوضع الأرض فى مكبس خاص لعصرها حتى تُخرج ما بها من محلول. وبصفة عامة يزداد الضغط اللازم للاستخلاص كلما قلت نسبة الرطوبة فى الأرض، وبهذه الطريقة لايمكن الحصول على مقادير كبيرة من المحلول إلا إذا كانت كمية الرطوبة بالأرض كبيرة تزيد على ماتوجد به فى الظروف الحقلية.

٢ – **طريق غشاء الضغط Pressure Membrane Method**: وتُستخدم هذه الطريق إذا كانت الأرض بها نسبة رطوبة قريبة من السعة الحقلية. حيث يتم تعريض عينة من الأرض لضغط على أغشية من النايلون أو السيليلوز ذات مسام ضيقة داخل إناء من الصلب، وتكون قوة الضغط المستخدمة فى هذه الحالة حوالى ١٥ ض جـ، وهى كافية لاستخلاص المحلول الأرضى حتى نقطة الذبول. وتعتبر هذه الطريقة وطريقة العصر السابق ذكرها من أفضل الطرق، حيث إنها لاتسبب تغيراً فى التركيب الكيميائى للمحلول ويكون مماثلاً للحقيقة تقريباً. وإن عابهما قلة الكمية المُتحصل عليها من المحلول.

٣ – **طريقة الإحلال أو الإزاحة Displacement Method**: وفيها يتم إحلال سائل غير فعال Inert liquid محل المحلول الارضى، حيث يزاح المحلول الأرضى منها دون أن يتأثر تركيبه الكيميائى بشرط أخذ احتياطات معينة مثل قياس الانخفاض فى درجة التجمد، ومتابعة التغير فى تركيز المحلول بقياس درجة التوصيل الكهربائى له.

٤ – **طريقة الترشيح Filtration Method**: وفيها توضع الأرض فى جهاز ترشيح يعمل تحت جهاز تفريغ عالٍ يُساعد على استخلاص المحلول بالرشح.

٥- طريقة المستخلصات Extractants Method : وذلك عن طريق معاملة التربة بنسب مختلفة من الماء مثل مُستخلصات العجينة المشبعة، ١:١، ١:٥، ١:١٠ ... إلخ، ثم توضع على قرص مسامى به ورقة ترشيح مثل قمع بخنر Buchner funel، وتُعرض لتفريغ كافٍ للحصول على المحلول الأرضى.

٦- طريقة الطرد المركزى السريع Rapid Centrifugation : وتعتبر أحسن وأسرع الطرق التى تؤدى إلى الحصول على المحلول الأرضى الحقيقى.

ولقد أثبتت البحوث أن التركيب الكيميائى للمحلول الأرضى يختلف تبعاً لفصول السنة ؛كما يختلف قبل المحصول عنه بعده. وبالرغم من أن دراسة المحلول الأرضى مهمة من ناحية تغذية النبات، غير أنه لايمكن حتى الآن استخدام المعلومات الخاصة بتركيبه لمعرفة حاجة الأرض للتسميد بالعناصر المختلفة، إذ تتدخل عوامل أخرى تزيد من قدرة النبات على امتصاص العناصر من المركبات غير القابلة للذوبان فى المحلول الأرضى منها:

أ- خروج بعض الأيونات من على أسطح الغرويات الأرضية والتى يمكن أن يستفيد منها النبات بعد خروجها مباشرة.

ب- التحولات المستمرة فى المادة العضوية طوال فترة نمو النبات مع تغير معدل هذه التحولات بتغير فصول السنة، مما يؤدى إلى اختلاف كميات العناصر الناتجة من التحول فى فترات النمو المختلفة.

جـ- اختلاف معدل امتصاص النبات للعناصر المختلفة تبعاً لدرجة نموه وعمره.

د- إن النبات لايأخذ كل احتياجاته من العناصر الذائبة فى المحلول، بل يمكنه الحصول على بعض العناصر بالتبادل الأيونى المباشر بين الجذور ومركب الادمصاص بالأرض (التبادل بالتماس).

هـ- إن النباتات تفرز من جذورها مركبات تؤثر موضعياً على مكان التصاق الجذور بحبيبات الأرض، فتذيب بعض العناصر المغذية مثل: الفوسفات، وبذلك يمكن للجذور امتصاصها دون وصولها وانتشارها فى المحلول الأرضى.

العناصر الموجودة في الهواء الأرضي

يعتبر الجزء الغازى Gaseous phase من التربة من أهم محتوياتها، ويطلق عليه اسم الهواء الأرضى. ويوجد فى المسافات البينية فى صورة حرة كما يوجد ذائباً فى ماء التربة. وهو جزء فعال فيها ولكنه غير ثابت التركيب والمكونات حتى فى التربة الواحدة، وعلى الرغم من أنه أساساً جزء من الهواء الجوى، غير إنه يختلف عنه فى ثلاثة اعتبارات:

١- احتواؤه على نسبة أعلى من غاز ثانى أكسيد الكربون.

٢- احتواؤه على مقدار أقل من الاكسيجين.

٣- يكون مشبعاً ببخار الماء إلا فى الأراضى الجافة. ويرجع ذلك لبطء حركته فى التربة وعدم اتصاله السريع بالهواء الجوى واتصاله الدائم بالأغشية المائية المغلقة لحبيبات التربة، مع وجود عمليات حيوية دائمة فى التربة مثل: تنفس الجذور والأحياء الأرضية مما يزيد من نسبة CO_2 عنها فى الهواء على حساب نقص الأكسيجين (جدول ٢-١). ويتوقف تركيب الهواء الأرضى على معدلات التفاعلات الكيميائية والحيوية وخواص الأرض الطبيعية المتصلة بعملية التهوية.

جدول (٢-١): مقارنة بين مكونات الهواء الجوى والهواء الأرضى (٪)

الغـــاز	الهواء الأرضى	الهواء الجوى
الاكسجين	٢٠	٢١.
النيتروجين	٧٨,٦	٧٨,٣
ثانى أكسيد الكربون	٠,٢- ٠,٥	٠,٠٣

والهواء الأرضى لازم أساسى لحيوية التربة والنبات النامى بها ولعمليات الأكسدة والكربنة الحاصلة داخلها، فأحياء التربة بما تقوم به من دور هام فى تحليل المادة العضوية وفى تثبيت الأزوت الجوى للأرض، يلزم لها الهواء بما فيه من أوكسيجين لكى تقوم بدورها فى التربة. فإذا طُرد الهواء من الأرض نتيجة لتراكم الماء بها وقلت كمية الأكسيجين اللازم لها، وقف نشاط الكائنات الهوائية وحل محلها فى النشاط البكتريا اللاهوائية التى تستمد الأكسيجين من مركباته فى التربة، فتعمل على اختزال هذه المركبات ومنها النترات والكبريتات.

أما النبات النامي فى الأرض فيلزم له الهواء فى طورى الإنبات والنمو، ففى طور الإنبات تحتاج البذور إلى نسبة معينة من الأكسيجين تتوقف على نوع البذور. فالبقوليات تحتاج إلى كثير منه، بينما البصل والأرز لاتحتاج إليه إلا بمقادير قليلة. وبعض النباتات النصف مائية يمكنها استعمال الأكسيجين الذائب فى ماء التربة مثل نباتات الأرز. ولكن الهواء عموماً لازم لتنفس الجذور أياً كان نوع النبات النامي. وفى الوقت نفسه تحتاج عمليات الأكسدة والكربنة فى التربة إلى وجود مكونات الهواء وهى الأكسيجين وثانى أكسيد الكربون إما منفردين أو ذائبين فى المحلول الأرضى.

ويعتبر الهواء الأرضى مصدراً هاماً لإمداد النبات بالنيتروجين وإن كانت معظم النباتات لاتستطيع الاستفادة من هذا النيتروجين مباشرةً. وتقوم بعض الكائنات الدقيقة بتثبيت هذا النيتروجين وتحويله من الصورة الغازية N_2 إلى صورة يمكن للنبات الاستفادة منها.

صور تواجد العناصر الغذائية فى الأرض

يوجد العنصر الواحد فى التربة على أكثر من صورة يمكن إيجازها كما يلى:

١- ذائبة فى المحلول الأرضى وهى تامة الصلاحية للنبات.

٢- متبادلة على أسطح الغرويات (الطين والمادة العضوية) وهى صالحة للنبات، حيث إنها قابلة للانتقال إلى المحلول الأرضى بسرعة نتيجة لتفاعلات التبادل الأيونى.

٣- موجودة فى صورة معادن شحيحة الذوبان على صورة غير صالحة لامتصاص النبات، ولكن يمكن أن تتحول ببطء إلى صورة صالحة نتيجة لفعل عوامل التجوية الكيميائية.

٤- موجودة فى المادة العضوية على صورة غير ذائبة وغير صالحة للامتصاص، تعمل الكائنات الدقيقة على تحلل هذه المواد وتحولها إلى الصورة الصالحة للامتصاص.

ويمكن تعريف الصورة الصالحة من العنصر بأنها الصورة أو الصور من العنصر التى يستطيع النبات أن يمتصها بسهولة والتى عند حدوث تغير فى كميتها يقابله تغير فى نمو النبات وأيضاً فى محصوله.

وتتوقف قدرة الأرض على إمداد النبات بحاجته من العناصر الغذائية كما اقترح Schofeld سنة ١٩٥٥ على :

١- كمية العنصر الذائب فى المحلول الأرضى ويمثل ذلك بما يسمى بعامل الشدة Intensity factor حيث إن ذلك يمثل المصدر الأول والمباشر للعناصر الممتصة بواسطة النبات . ويمكن القول بأن وفرة العنصر الغذائى بالتربة لتلبية احتياجات النباتات لاتعتمد على تركيز العنصر فى المحلول الأرضى بل على المصادر التجهيزية للطور الصلب والتى يعبر عنها بعامل الكم أو عامل السعة .

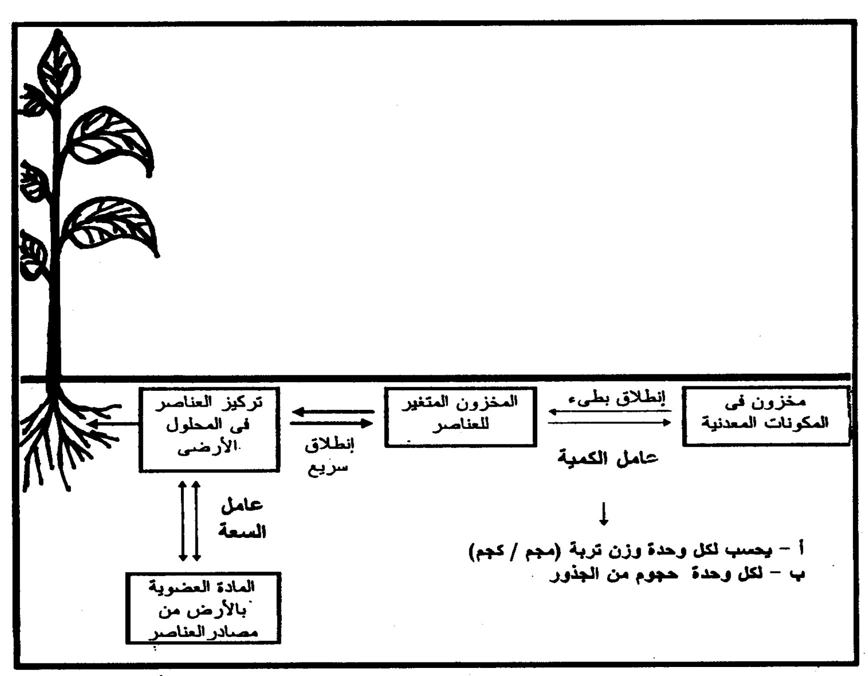
٢- قدرة الأرض على تجديد النقص فى تركيز المحلول الأرضى من العنصر والذى يُعرف بعامل السعة Capacity factor أو عامل الكم Quantity factor ويمثل المخزون الاستراتيجى من العنصر فى الطور الصلب والقابل للانتقال إلى المحلول الأرضى لتعويض نقصه خلال فترة حياة النبات، ويوضح شكل (٢-٢) توزيع العنصر فى الصور المختلفة (حسب درجة تيسره) وطبيعة التوازن بين هذه الصور . ويمكن تحديد عامل السعة (الكمية) بالتالى :

أ- كمية العنصر الموجودة فى حالة توازن سريع مع ما هو موجود منه فى المحلول الأرضى . مثال ذلك أيونات البوتاسيوم والفوسفور المدمصة على الأسطح الخارجية للغرويات الأرضية .

ب- الكمية من العنصر التى فى حالة اتزان متوسط مع ما هو موجود منه فى المحلول الأرضى، مثال ذلك البوتاسيوم والأمونيوم المثبت Fixed والفوسفور المرسب حديثاً .

جـ- الكمية الموجودة فى حالة اتزان بطىء مع الكمية الموجودة فى المحلول الأرضى، ومثال ذلك النيتروجين والفوسفور والكبريت الموجود فى تركيب المادة العضوية والذى يحتاج إلى وقت لكى يتحول إلى صورة صالحة للنبات . أيضاً المركبات القليلة الذوبان مثل : مركبات الفوسفور وبعض مركبات العناصر الصغرى .

ويتضح مما سبق أن التفاعل المستمر مابين المحلول الأرضى ومكونات الأرض المختلفة يتأثر ببعض العمليات الكيميائية والتى من أهمها :



شكل (٢-٢): مفهوم تأثير النسبة بين عامل الشدة إلي عامل السعة على تيسر العناصر المغذية للنبات

١– التبادل الأيونى وتأثره بالسعة التبادلية الكاتيونية.

٢– عمليات ذوبان وترسيب العناصر ويتحكم فيها رقم pH الأرض.

وسوف نتناول فيما يلى كل عملية بشىء من الإيجاز وأثرها على توفر العناصر الغذائية فى صورة ذائبة.

التبادل الأيونى والسعة التبادلية الكاتيونية

Ion Exchange and Cation Exchange Capacity

تعتبر تفاعلات التبادل الأيونى من أكثر التفاعلات الموجودة فى الطبيعة أهمية بعد عملية التمثيل الضوئى لما لها من أهمية فى تغذية النبات. وكما هو معروف بأن غذاء النبات عبارة عن مجموعة من العناصر الكيميائية فى صورة أيونية، وتؤثر كمية ونوعية هذه الأيونات الموجودة فى التربة على إمداد النباتات بحاجتها من الغذاء. ولتوضيح أهمية التبادل الأيونى فإنه من الأهمية معرفة أن غذاء النبات يكون فى الصورة الأيونية للعناصر، وهذه الأيونات لاتوجد فى المحلول الأرضى فقط بل توجد أيضاً مدمصة على أسطح الغرويات الأرضية. وخاصية الادمصاص هذه هى التى تحفظ أيونات العناصر، فلو ان غذاء النبات كان ذائباً فى المحلول الأرضى، فإنه سرعان مايفقد بالغسيل، وبالتالى يحرم النبات من الاستفادة منه.

والتبادل الأيونى ببساطة عبارة عن عملية عكسية Reversible process للتبادل بين الأيونات الموجودة فى المحلول الأرضى وتلك الموجودة على أسطح معقدات التبادل، وفى حالة تلامس أسطح معقدات التبادل فمن الممكن أن يحدث التبادل بين الأيونات دون مرور الأيون بالمحلول الأرضى وهذا مايعرف بالتبادل بالتماس بين الغرويات الأرضية. ويشمل التبادل الأيونى تبادل كل من الكاتيونات والأنيونات، ويعتبر تبادل الكاتيونات أكثر أهمية ووضوحا من تبادل الأنيونات بالنسبة لتغذية النبات.

بعد أن عرفنا بأن هناك ثلاثة مكونات للأرض وما يهمنا من تلك المكونات هو الجزء الصلب سواء كان معدنياً أو عضوياً. ويتكون الجزء المعدنى من مكونات صلبة للمعادن الأولية والثانوية وهى عبارة عن حبيبات من الصخور ذات أحجام الغروى. بينما الجزء العضوء يتكون من البقايا النباتية والحيوانية الموجودة فى مختلف مراحل تحللها، بما فيها من دبال. ويعتبر الجزء الناعم من التربة والذى يقل قطر حبيباته عن ٢٠ ميكرون هو قاعدة التبادل الأيونى، ويشمل هذا الجزء كل معادن الطين وجزء من السلت، بالإضافة

إلى الغرويات العضوية. وعلى ذلك نجد أن الطين هو المحدد لخواص الأرض الطبيعية والكيميائية والعامل الأساسي في تفاعلاتها. ولذلك فإن لبناء الطين وحبيباته دور كبير في القدرة على ربط الأيونات على سطوحها وتبادلها مع غيرها من الأيونات في الوسط المحيط. ويجب أن نتخيل الصورة العامة للتربة ككتلة من الحبيبات المحاطة بالمحلول الأرضي، وهذه الحبيبات يكون لها القدرة على التجاذب ومسك الأيونات المخالفة لها في الشحنة، وتتنافر مع الأيونات ذات الشحنة المتشابهة طبقا لقوانين التعادل الكهربي Laws of electrical neutrality حيث تتراكم كمية متساوية من الشحنات العكسية في المحلول الأرضي بالقرب من السطح المشحون. وعندها تتجاذب الكاتيونات الموجبة الشحنة مع الشحنات السالبة والموجودة على السطح وتعمل قوى الانتشار على وضعها في اتجاه المحلول المتزن. وظروف توزيع الكاتيونات في طبقة الانتشار diffuse layer تعتمد على زيادة تركيز الكاتيونات بقيمة عالية في اتجاه سطح حبيبة الغروي عنه في المحلول والتي تقدر بمقدار شحنة السطح. وفي نفس الوقت نجد أن الأنيونات التي تحمل شحنة سالبة تتنافر وتكون قوى انتشارها في اتجاه مغاير مما يقلل من تركيز الأنيونات عند السطح. ومن خلال عمليات تجاذب الكاتيونات للسطح وتنافر الأنيونات بعيداً عن السطح تنشأ طبقة مزدوجة كهربيا ويوضحها شكل (٢-٣).

وكما سبق القول بإن معظم معادن الطين تحمل شحنة سالبة Negative charge وهذا حقيقي في أراضي المناطق المعتدلة والجافة، وعلى ذلك فهذه الشحنات السالبة يتم معادلتها بواسطة الأيونات الموجبة الشحنة والسابحة في المحلول الأرضي (الكاتيونات) بقوة جذب الكتروستاتيكية (تسمى قوى كولومب Coulomb forces)، وتتناسب شدة التجاذب تناسب طردياً مع حاصل ضرب شحنة الكاتيون (الشحنة الموجبة) × شحنة الطين (الشحنة السالبة) وكذلك تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بين الشحنتين (قانون كولومب Coloumb Law) كما في المعادلة التالية:

$$F = a^{+} . a^{-} / D.r^{2}$$

حيث :F قوة الجذب، و +a-, a شحنة كل من الكاتيون والأنيون على التوالي وD ثابت وr المسافة بين الشحنتين.

أى أن التبادل الأيونى يتم على أسطح المواد الحاملة للشحنة الكهربائية، حيث إن الأجسام ذات الشحنة تجذب إلى سطحها أيونات ذات شحنة مخالفة لشحنتها ومكافئة لها تماماً. ويمكن أن تتبادل الأيونات التى تعادل شحنة الجسم مع أيونات مماثلة لها فى الشحنة كماً ونوعاً أى تكافئها تماماً. وعلى ذلك نجد أن الجسم السالب الشحنة يجذب إلى سطحه كاتيونات بالقدر الذى يعادل شحنته السالبة، وأن الجسم الذى يحملة

شكل (٢-٣): توزيع الشحنات الكهربائية فى الطبقة المزدوجة

شحنة موجبة يجذب إلى سطحه أنيونات تعادل شحنته الموجبة، ويمكن فى جميع الأحوال حدوث تبادل كاتيونى أو انيونى بين تلك الممسوكة على أسطح التبادل ونظيرتها الموجودة فى الوسط المحيط، بحيث يتم التوازن بين الأيونات المتبادلة والذائبة فى الوسط، وشكل (٢- ٤) مثال لعملية التبادل الكاتيونى.

والواقع أن الطين فى حالته الطبيعية فى الأرض تكون أسطحه محملة بكاتيونات مختلفة، كما أن الأرض تختلف فى قدرتها على تبادل الكاتيونات بصفة عامه. وتتوقف قدرة الأرض على التبادل الأيونى على:

١- **كمية الطين**: الزيادة أو النقص فى كمية الطين فى الأرض تؤثر على قدرتها على

التبادل باعتبار أن الطين هو الذى يقوم بهذه العملية فالأرض الطينية أكبر قدرة على التبادل من الأرض الطميية، والأخيرة أكبر من الرملية.

Ca·· Na· Mg·· Ca·· K· Mg·· Ca·· حبيبة الغروى + 12 H^+ ⟷ H+ H+ H+ H+ H· H· H· H· H· H· H· H· حبيبة الغروى + 3Ca·· + 2Mg·· + K· + Na·

H· Ca·· Mg·· H· H· K· H· AL··· حبيبة الغروى + 5 Ca^{++} ⟷ Ca·· Ca·· Ca·· Ca·· Ca·· Ca·· حبيبة الغروى + AL··· +Mg·· + K· + 4H·

شكل (٢-٤) : مثال توضيحى لعمليات التبادل الكاتيونى

فى المثال العلوى يحدث تبادل بنسبة ١٠٠٪ للقواعد الأرضية بواسطة أيون الأيدروجين وذلك بإضافة محلول يحتوى على الأيدروجين (وقد يحدث ذلك فى الطبيعة فى المناطق الرطبة وعند تعرض الأراضى المتعادلة إلى أمطار حمضية تحوى حمض كربونيك $H_2 CO_3$). وفى المثال الموجود لأسفل حدث تبادل بنسبة حوالى ٤٠٪ من الكاتيونات بإضافة محلول يحتوى على أيون الكالسيوم (ويحدث ذلك عند إضافة الجير للأراضى الحامضية).

٢- **نوع معادن الطين**: فمعادن الطين ذات الشحنات الثابتة أو الدائمة (permanent surface charge or constant) وتشمل معادن من نوع ٢ : ١ ومنها

المونتيمور يللونيت، الفيرميكيولايت والإيلليت تكون أعلاها قدرة، بينما معادن طين ذات الشحنة المتغيرة والتى تتوقف على درجة تفاعل الأرض pH-dependant surface charge (or variable) ومنها معادن من نوع ١ : ١ مثل الكاؤولينيت تكون أقلها.

٣- محتوى الأرض من المادة العضوية: حيث تزداد القدرة على التبادل بزيادة المادة العضوية المتحللة فى الأرض.

وتقاس قدرة الأرض على التبادل الأيونى بمايسمى بالمليمكافىء أيون لكل ١٠٠ جرام من الأرض (المليمكافىء = الوزن المكافىء للعنصر × ١٠$^{-٣}$) ويطلق على مجموع مليمكافئات الكاتيونات المتبادلة على أسطح ١٠٠ جم أرض أسم السعة التبادلية الكاتيونية Cation Exchange Capacity (C.E.C) لهذه الأرض والتى تختلف من معدن لآخر ومن أرض لأخرى (جدول (٢-٢) .

والواقع أن هذه السعة التبادلية الكاتيونية تُشغل بالقواعد الأرضية وهى الكالسيوم Ca^{2+} ويشغل حوالى ٨٠٪ من الـ C.E.C للأرض، والماغنسيوم Mg^{2+} يشغل من ٥-١٥٪ منها ثم البوتاسيوم K^{+} والصوديوم Na^{+} وقليل من الأيدروجين والألومنيوم (H^{+}, AL^{3+}) حيث لايوجدان على صورة مُتبادلة على أسطح الطين إلا فى الأراضى الحامضية.

وبصفة عامة فإن نسب الكاتيونات المتبادلة على أسطح الطين ليست ثابتة وتتغير باستمرار نتيجة للعمليات الزراعية المختلفة مثل: إضافة الأسمدة أو الجبس الزراعى - امتصاص النبات للأيونات المختلفة وعمليات الغسيل (الصرف) وخلافه.

ماذا تعنى الـ C.E.C للأراضى الزراعية :

إن الكاتيونات المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية تعتبر ميسرة للنباتات النامية فى تلك الأرض، حيث يكون من السهل تبادلها مع أيونات الأيدروجين الموجود على أسطح الشعيرات الجذرية للنبات عن طريق التبادل بالتماس، أو التبادل مع الأيونات الموجودة فى المحلول الأرضى ثم الامتصاص مباشرة من المحلول بواسطة الجذور. ومن

جدول (٢-٢): السعة التبادلية الكاتيونية (C.E.C) لبعض معادن الطين وبعض الأراضي

نوع الأرض أو الغروى	الـ C.E.C ملليمكافىء/ ١٠٠ جم
كاؤلينيت	٣-١٥
إيلليت	٢٠-٥٠
مونتيمور يللونيت	٩٠-١٣٠
فيريكيولايت	٥٠-١٨٠
مادة عضوية	١٠٠-٢٠٠
أرض رملية	٣-٥
أرض طميية	٥-٢٠
أرض طينية ثقيلة	تصل إلى ٤٠

المعروف بأنه عند إضافة الأسمدة للتربة الزراعية سرعان ما تذوب فى المحلول الأرضى ولو أن هذا هو كل ما يحدث فسوف تُفقد بنفس السرعة مع مياه الصرف. ولكن مع وجود قيمة مرتفعة للسعة التبادلية الكاتيونية للتربة يحدث ادمصاص للشق الكاتيونى من السماد على أسطح الغرويات الأرضية نتيجة حدوث عملية التبادل الأيونى، وفى النهاية تحفظ تلك الكاتيونات من الفقد، ثم تصبح ميسرة للنبات فيما بعد. ويمكن إيجاز مدلول قيمة السعة التبادلية الكاتيونية للأرض فيما يلى:

١- تدل السعة التبادلية للأرض على قدرتها على إمداد النبات بالعناصر الغذائية. فكلما كانت القيمة مرتفعة كلما دل ذلك على زيادة السطح النوعى للتربة وبالتالى كبر المخزون الغذائى.

٢- تدل على توافر معادن معينة ذات سعة تبادلية عالية أو وجود نسبة عالية من المادة العضوية المتحللة ذات الشحنة العالية والسعة التبادلية المرتفعة فى تلك الأرض.

٣- من معرفة نوع الكاتيون السائد على معقد الادمصاص يمكن معرفة بعض الخواص

الكيميائية السائدة فى تلك الأرض، فمثلاً إذا كان الكاتيون السائد هو الأيدروجين اعتبرت الأرض حامضية وتعالج مشاكلها بإضافة الجير. وإذا ساد كاتيون الصوديوم تكون الأرض قلوية وتعالج بإضافة الجبس الزراعى. فى حين أنه عند سيادة أيون الكالسيوم تصبح الصفات الطبيعية للتربة جيدة نتيجة تكوين التجمعات الأرضية.

ويمكن الرجوع إلى موضوع التبادل الأيونى والسعة التبادلية الكاتيونية بتفصيل أكثر من مجال كيمياء الأراضى وخصوبة الأراضى.

التبادل الأيونى على جذور النبات:

تتميز جذور النبات بأن لها خواص غروية مثل: حبيبات الطين أو المواد العضوية المتحللة، ويمكن أن تقوم بعملية التبادل الكاتيونى والإدمصاص ولذلك فإن للجذور سعة تبادلية كاتيونية C.E.C وتعرف على أنها ملليمكافئات الكاتيونات المدمصة على أسطح ١٠٠ جم جذر، وتتغير السعة التبادلية الكاتيونية للجذور حسب عدة عوامل منها: عمر النبات –نوع النبات– العناصر الغذائية المستعملة وقت النمو –درجة الحرارة التى ينمو فيها النبات.

وتحمل جذور النبات شحنة سالبة سطحية، وتختلف كثافتها حسب نوع النبات وعمره وتركيب البيئة النامى فيها. وعمومًا تكون الجذور صغيرة السن نشطة، وبالتالى تصبح السعة الامتصاصية لها عالية وتقل بزيادة العمر. ومن الدراسات المختلفة لوحظ أن السعة التبادلية الكاتيونية لجذور النباتات ذات الفلقتين (مثل العائلة البقولية) أكبر منها للنباتات أحادية الفلقة (مثل محاصيل الحبوب)، كذلك فإن الجذور ذات السعة التبادلية العالية تمتص الكاتيونات الثنائية والثلاثية أكثر من الكاتيونات الأحادية والعكس صحيح. ولذلك يمكن تفسير سبب استفادة النباتات البقولية من الفوسفات صعبة الذوبان فى الأرض عن النباتات النجيلية، حيث إن البقوليات لها جذور ذات سعة تبادلية عالية فتمتص الكالسيوم من فوسفات الكالسيوم صعبة الذوبان وتترك الفوسفات فى صورة صالحة للامتصاص بسهولة عن وجوده مرتبطًا بالكالسيوم.

أى أن النباتات ذات الجذور التى سعتها التبادلية الكاتيونية العالية مثل: البرسيم الحجازى يمتص الكالسيوم بقوة أكبر وتفضله عن البوتاسيوم. أما النباتات ذات الجذور منخفضة فى السعة التبادلية الكاتيونية مثل: القمح يقل احتفاظها بالكالسيوم وتستطيع

أن تمتص البوتاسيوم بسهولة. وجدول (٢-٣) يعطى بعض الأمثلة على قيم الـ C.E.C لبعض النباتات المختلفة.

جدول (٢-٣): السعة التبادلية الكاتيونية لجذور بعض النباتات

نوع النبات	السعة التبادلية الكاتيونية (مللمكافىء/ ١٠٠ جم مادة جافة)
القمح	٢٣
الذرة	٢٩
اللوبيا	٥٤
الطماطم	٦٢

عن Marschner سنة ١٩٩٥.

رقم حموضة الأرض (pH)

وعلاقته بصلاحية العناصر الغذائية للنبات

يعتبر تفاعل التربة من العوامل المهمة التى تجعل الأرض وسط ملاءم لنمو النباتات والكائنات الدقيقة الموجودة بها، والمقصود بتفاعل التربة هو كون هذه التربة حامضية -متعادلة- أو قاعدية. ودرجة الحموضة أو القاعدية تقاس بما يعرف برقم الـ pH (اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين فى الوسط معبراً عنه بالمول / لتر (pH= -log [H]).

فى معظم الحالات يتم تقدير درجة حموضة التربة فى معلق تربة لمحلول إلكتروليتى مخفف (غالباً ٠,٠١ مولار من كلوريد الكالسيوم أو بواسطة الماء، علماً بأن فى الحالة الأولى تكون القيمة المتحصل عليها أقل منها فى الحالة الثانية بمقدار يتراوح بين ٠,٣-١,٠ وحدة بمتوسط ٠,٦ وحدة، ويرجع ذلك لإحلال الكالسيوم محل الأيدروجين المتبادل على أسطح الغرويات الأرضية وينطلق الأيدروجين إلى المحلول الأرضى وفى صورة نشطة). عموماً تكون الأراضى الحامضية ذات مشاكل أكثر بالمقارنة بالأراضى القاعدية، وتتركز الأراضى الحامضية فى وسط أوروبا، حيث يتراوح رقم الـ pH فيها من ٣-٨ بمتوسط ٥-٦,٥. فى حين نجد أن الأراضى القاعدية تتركز فى المناطق الجافة وتكمن مشاكلها فى زيادة نسبة الأملاح أو الصوديوم بها.

عادة يكون كل من الأيدروجين أو الأومنيوم المتبادل على أسطح الغرويات الأرضية هو المسبب لخفض درجة حموضة التربة pH، حيث يؤدى انطلاق الأيدروجين من على سطح الغروى إلى المحلول الأرضى إلى زيادة كمية الأيدروجين النشط به وهذا يؤدى إلى خفض درجة الحموضة، ونفس السبب أيضاً ينتج من خروج أيون الالومنيوم من على أسطح التبادل نتيجة عملية التبادل الايونى ومع حدوث التحلل المائى للالومنيوم ينتج أيونات الأيدروجين كما توضحها المعادلة التالية:

$$Al^{+3} + 3H_2O \Rightarrow Al(OH)_3 + H^+$$

أساس تفاعل التربة Principle of Soil Reaction

تعتبر معقدات التبادل بالتربة أملاح حامضية ضعيفة أو أملاح للقواعد التى تختلف فى قوتها من الضعيفة إلى القوية ($Al(OH)_3$ إلى NaOH) والتى لها القدرة على التحلل المائى. وفى سنة ١٩٨٤ ذكر (Schroeder) مثال لتأثير التحلل المائى لبعض القواعد المتبادلة على رقم الـ pH (فى حالة غياب ثانى أكسيد الكربون لتأثيره على خفض رقم الـ pH) فعند خروج أيون الصوديوم من على أسطح التبادل وحدوث التحلل المائى له نجد أن قيمة رقم الـ pH للوسط ترتفع إلى حوالى ١١، فى حين نجد أن الألومنيوم يؤدى إلى خفض قيمة رقم pH إلى حوالى ٤ .

$$\text{"Na- Soil"} + H_2O \overset{\leftarrow}{\rightarrow} \text{H-Soil} + NaOH \qquad pH \sim 11$$

$$\text{"Ca- Soil"} + 2\,H_2O \overset{\rightarrow}{\leftarrow} \begin{matrix} H \\ H \\ H \end{matrix} > \text{Sail} + Ca(OH)_2 \qquad pH \sim 8$$

$$\text{" Al-Soil"} + 3\,H_2O \overset{\leftarrow}{\rightarrow} \begin{matrix} H \\ H \\ H \end{matrix} > \text{Soil} + Al(OH)_3 \qquad pH \sim 4$$

$$\text{" H-Soil"} + H_2O \qquad pH \sim 3$$

وطبيعى أن هذا المثال لا ينطبق على الأراضى تحت الظروف العادية؛ وذلك لأنها فى الغالب تحتوى على خليط من الكاتيونات المختلفة. ويجدر الإشارة هنا إلى أن تأثير البوتاسيوم يكون مماثلا لتأثير الصوديوم، فى حين يكون تأثير الماغنسيوم مماثلا لتأثير الكالسيوم. وعلى هذا نجد أن درجة الحموضة أو القاعدية يتحكم فيها بدرجة كبيرة سيادة أيونات Na^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, AL^{3+} بالإضافة إلى الأيدروجين. عمومًا تصبح الأرض شديدة الحموضة عندما يسود أيون الأيدروجين، فى حين تقل الحموضة وتتجه إلى التعادل مع سيادة الكالسيوم (مع الماغنسيوم والبوتاسيوم والأيدروجين)، بينما بسيادة الصوديوم تصبح الأرض قلوية (نسبة الصوديوم أكبر من ١٥٪ من الـ C.E.C للأرض وذات pH أعلى من ٨,٥).

مسببات حموضة التربة Causes Of Soil Acidity

كما سبق ذكره أن السبب الرئيسى فى انخفاض رقم pH التربة هو زيادة تركيز أيون الأيدروجين فى المحلول الأرضى، وفى نفس الوقت غسيل القواعد الأرضية كما هو الحال فى المناطق الممطرة، أيضًا يتأثر pH التربة الزراعية بمعادن الأرض السائدة، وبمعنى أدق مادة الأصل الناشئة منها تلك الأرض. حيث وجد أن مع سيادة القواعد بتلك المعادن ومع حدوث عمليات التجوية تنطلق تلك القواعد ويحدث تشبع لمواقع التبادل بهذه القواعد مما يؤثر على pH التربة، هذا بجانب عوامل أخرى مؤثرة ومنها المناخ، عمر الأرض، .. إلخ. ومن ناحية تأثير مادة الأصل يمكن ترتيب الصخور النارية على خفض الـ pH كما يلى:

البازلت Basalt > الديوريت Diorite > الجرانيت Granite

ومن أهم مصادر الأيدروجين فى التربة ما يلى:

١- ثانى أكسيد الكربون الناتج من تنفس الكائنات الدقيقة وجذور النباتات وأيضًا الناتج من عملية الأكسدة للمادة العضوية بالتربة:

$$CO_2 + H_2O \Rightarrow HCO_3^- + H^+$$

وبالتالى يكون الهواء الأرضى ذا محتوى مرتفع من ثانى أكسيد الكربون، وبالتالى يكون له تأثير على خفض pH التربة وخاصة فى الأراضى ذات السعة التنظيمية المنخفضة، والبيانات الموجودة فى جدول (٢-٤) توضح قيمة pH الماء المتوازن مع هواء ذى محتوى مختلف من ثانى أكسيد الكربون.

٢- الأيدروجين الناتج من جذور النباتات: كما هو معروف عند امتصاص الجذور للكاتيونات مثل $K^+, NH_4^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}$ أو أى كاتيونات أخرى لابد أن يحدث توازن أيونى داخل الجذر، وعلى هذا تفقد الجذور جزءًا من محتواها من الأيدروجين لإحداث هذا التوازن.

٣- تحلل المادة العضوية: بجانب انطلاق ثانى أكسيد الكربون أثناء عملية الأكسدة ينتج العديد من الأحماض العضوية والتى لها تأثيرها على خفض الـ pH ومنها حمض الفلفيك Fulvic acid وحمض الهيوميك Humic acid.

جدول (٢-٤) : قيمة pH الماء المتوازن مع هواء ذات محتوي مختلف من ثاني أكسيد الكربون

	ثاني أكيد الكربون (حجم ٪)	قيمة الـ pH
الهواء الجوى	٠,٠٣	٥,٦
الهواء الأرضى	٠,٣٠	٥,٢
	١,٠٠	٥,٠
	١٠,٠٠	٤,٥

عن Schroeder سنة ١٩٨٤.

٤- أكسدة بعض الصور المختزلة لبعض العناصر: ويتضح ذلك فى أكسدة كبريتيد الأيدروجين H_2S إلى كبريتات أو حمض كبريتيك، أيضًا أكسدة الأمونيوم إلى نتريت ثم نترات أو حمض النيتريك.

٥- التلوث البيئى: كما هو الحال فى المناطق الصناعية ذات الهواء الغنى فى الأكاسيد الكبريتية والأزوتية، ومع ذوبان تلك الأكاسيد فى مياه الأمطار ينتج عنها مياه أمطار شديدة الحموضة ذات pH حوالى ٤ بالمقارنة بمياه الأمطار النظيفة والتى تحوى ثانى أكسيد الكربون فقط والتى تكون ذات pH قدرة ٥,٦ .

٦- الأسمدة ذات التأثير الحامضى: من هذه الأسمدة السوبر فوسفات وكبريتات الأمونيوم والسوبر فوسفات.

ولمزيد من التفاصيل عن pH التربة ومسببات الحموضة وطرق قياس الـ pH يمكن الرجوع إلى مجال كيمياء الأراضى.

ولتفاعل التربة تأثيره الكبير على درجة صلاحية العناصر المغذية للنبات والتى تكون فى أعلى درجة صلاحية لها عند رقم pH يتراوح ما بين ٦,٥ - ٧,٥ كما فى (شكل ٢-٥) . ويمكن إيجاز تأثير ارتفاع وانخفاض pH التربة على جعل العناصر المغذية فى صورة أقل صلاحية كما يلى:

أولاً : انخفاض pH التربة عن ٥,٥ :

١– الفوسفور يحدث له ترسيب لاتحاده مع الحديد والألومنيوم وتتكون مركبات غير ميسرة للنبات.

٢– العناصر الصغرى Micronutrients كل العناصر الصغرى فيما عدا الموليبدنم Mo تصبح أكثر ذوبانا بزيادة الحموضة، وأعراض نقص هذه العناصر نادر ظهورها عند pH أقل من ٧ تقريبًا.

٣– الألومنيوم مع انخفاض رقم pH الأرض عن ٥,٥ ينفرد الألومنيوم نتيجة لتهدم معادن الطين، ويصبح ذائبًا لدرجة السمية بالنسبة للنبات.

٤– عملية التأزت Nitrification بانخفاض pH التربة عن ٥,٥ يقل النشاط البكتيرى، وبالتالى تقل عملية معدنة النيتروجين العضوى، وبالتالى عملية التأزت مما يؤثر على مستوى النيتروجين الصالح للنبات فى الأرض. حيث وجد أن السيادة تكون للفطريات عند pH أقل من ٥,٥، بينما تكون السيادة للبكتريا عند pH أكبر من ذلك.

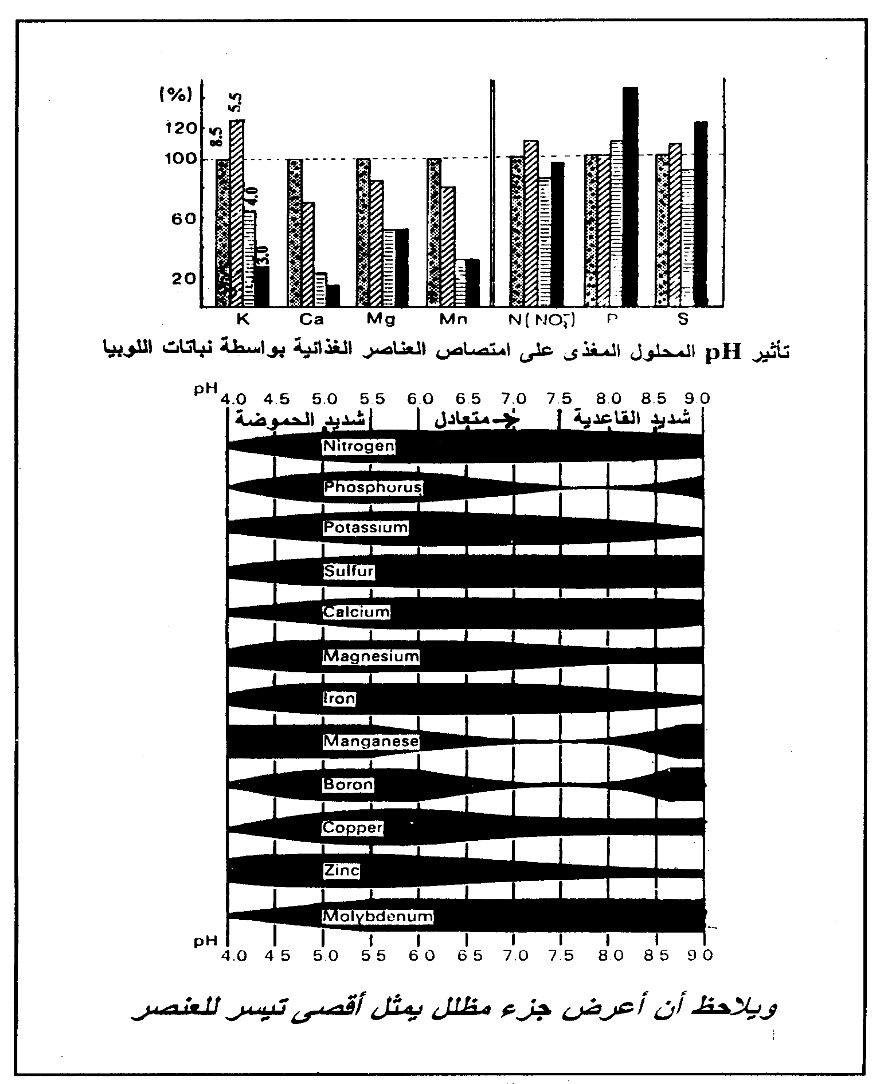
ثانيًا : ارتفاع pH التربة عن ٨ :

١ – الفوسفور: فى وجود الكالسيوم، يتحول إلى فوسفات الكالسيوم الثنائية ثم الثلاثية، وبالتالى يقل الفوسفور الميسر للنبات. ومع ارتفاع الرقم عن ٨,٥ وفى وجود الصوديوم يصبح الفوسفور ذائبًا فى صورة فوسفات صوديوم ذائبة.

٢ – البورون: يصبح ميسرًا لدرجة السمية وخاصة فى الأراضى الملحية والصودية.

٣ – الصوديوم: معظم الأراضى ذات pH أعلى من ٨,٦ تكون نسبة الصوديوم المتبادل (E.S.P) أكبر من ١٥٪، مما يؤثر على البناء الأرضى، وبالتالى لابد من استصلاحها بإضافة الجبس الزراعى لتحسين صفاتها.

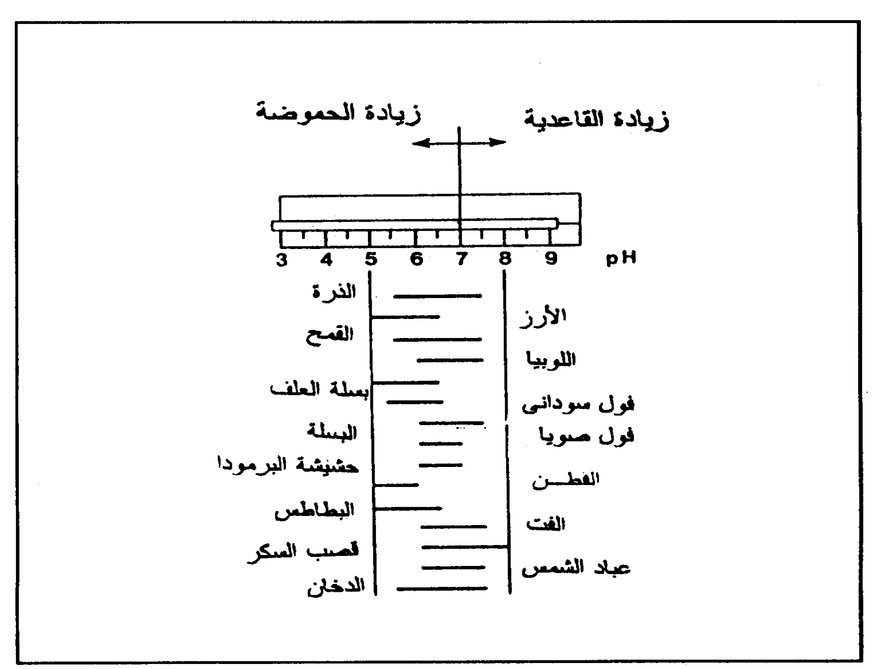
٤ – عملية التأزت بارتفاع pH التربة يقل النشاط البكتيرى، وبالتالى تقل عملية التأزت. كذلك يؤدى ارتفاع رقم الـ pH كما هو فى الأراضى القلوية إلى تطاير الأمونيا من الأرض عند إضافة الأسمدة النشادرية لها.



شكل (٢-٥) : العلاقة بين رقم pH التربة والتيسر النسبى للعناصر المغذية

٥- العناصر الصغرى تقل درجة صلاحيتها بزيادة pH التربة فيما عدا عنصر الموليبدنم Mo.

بالإضافة إلى ما سبق تتأثر جذور النباتات بتفاعل التربة حيث ينخفض نمو النبات بشدة فى الأراضى شديدة الحموضة نتيجة لذوبان الألومنيوم مما يؤدى إلى سمية الجذور. وتختلف النباتات فى مدى تحملها لدرجات متفاوتة من الـ pH فى الأراضى، ويختلف الـ pH الأمثل لنمو النبات من نبات إلى آخر فمثلاً نباتات الشاى والبطاطس والأنانس والصنوبريات تتحمل درجات شديدة من الحموضة وتنمو بدرجة جيدة بعكس نباتات أخرى مثل: الشعير والدخان والبرسيم والتى تنمو بطريقة جيدة فى الأراضى القاعدية الخفيفة، بينما الأرز والذى ينمو تحت ظروف الأرض المغمورة بالماء ينمو بدرجة جيدة فى مدى واسع من الـ pH وشكل (٢-٦) يوضح المدى الملائم من الـ pH لبعض المحاصيل المهمة.



شكل (٢-٦) : المدى الملائم من الـ pH للمحصيل المختلفة

الفصل الثالث

كيفية حصول النبات
على حاجته من العنصر الغذائى



كيفية حصول النبات
على حاجته من العنصر الغذائى

كما سبق القول بأن العنصر الغذائى الواحد يوجد فى أكثر من صورة فى النظام الأرضى، وأن النبات يمتص العنصر الغذائى فى صورته الأيونية، وهذه الصورة تكون ذائبة فى المحلول الأرضى، إلا أن مقادير هذه الصورة قد تكون قليلة جداً، وقد لا تفى بحاجة النبات، بينما الجزء الأكبر منه على صورة غير ذائبة مرتبط بالطور الصلب من الأرض، وذلك إما داخلة فى تركيب المعادن الأرضية، أو مدمصاً على أسطح الغرويات الأرضية المعدنية منها والعضوية، أو داخله فى تركيب المادة العضوية.

بامتصاص العناصر الغذائية من المحلول الأرضى يقل تركيزها، وخاصة فى المناطق المحيطة بالجذر، ويتبع ذلك أن تنطلق كمية من العناصر المتبادلة على أسطح الجزء الصلب أو الموجودة داخله إلى المحلول الأرضى ليرتفع تركيزها مرة أخرى، **وتتم عملية حصول النبات على حاجته من العنصر الغذائى بالخطوات التالية :**

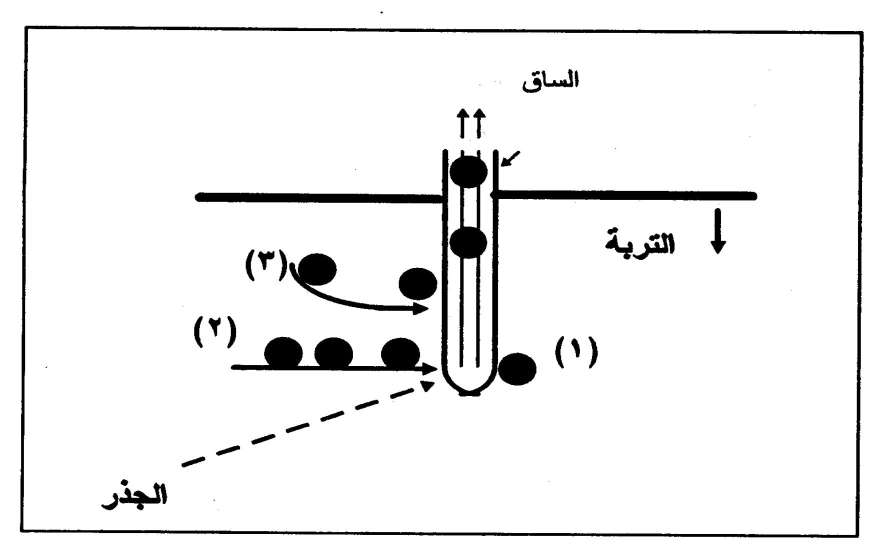
١ – انتقال العنصر الغذائى خلال المحلول الأرضى إلى جذر النبات.

٢ – امتصاص العنصر (الأيون) بواسطة الجذر.

٣ – انتقال العنصر داخل النبات من الجذر إلى الأجزاء الهوائية.

أولا : انتقال العنصر الغذائى خلال المحلول الأرضى إلى جذر النبات

أهمية انتقال العناصر المغذية فى التربة لجعلها فى صورة صالحة للنبات تم تأكيدها لأول مرة بواسطة Barber سنة ١٩٦٢، من خلال ثلاث وسائل أساسية وهى الاعتراض الجذرى، التدفق الكتلى والانتشار كما يوضحها شكل (٣ – ١).



شكل (٣ – ١): يوضح انتقال العناصر المعدنية في التربة إلي سطح جذور النباتات النامية

١ – **الاعتراض الجذرى**: وفيه يتم إحلال الجذر محل حجم معين من التربة ويتوقف هذا الحجم على حجم الجذر (امتصاص العنصر يتم بدون انتقاله فى المحلول الأرضى).

٢ – **التدفق الكتلى**: وفيه يحدث انتقال للمحلول الأرضى حسب المحتوى الرطوبى بالأرض (أى يصل العنصر إلى الجذر بالانتقال).

٣ – **الانتشار**: وفيه ينتقل العنصر خلال المحلول الأرضى وذلك حسب تدرج التركيز.

● = العنصر الميسر (المقدر بواسطة اختبارات التربة).

وأمكن توضيح وحساب مساهمة كل طريقة من هذه الطرق فى الكمية الممتصة من عناصر الكالسيوم، الماغنسيوم، البوتاسيوم، والفوسفور بواسطة نبات الذرة والمنزرع فى أرض طميية سلتية خصبة (جدول ٣ – ١)، ويلاحظ من هذا الجدول أن التدفق الكتلى يساهم بالجزء الأساسى من كمية الكاليسوم والماغنسيوم الممتصة، فى حين تتوقف

الكمية الممتصة من البوتاسيوم والفوسفور على الانتشار، بالإضافة إلى ذلك يلاحظ أن كمية الكالسيوم والماغنسيوم التى تصل إلى جذر النبات عن طريق التدفق الكتلى تفوق الكمية الممتصة، وهذا يعنى أنه قد يحدث تراكم لهذه الأيونات على السطح الخارجي للجذر.

جدول (٣ - ١): مساهمة الاعتراض الجذري والتدفق الكتلي والانتشار في الكمية الممتصة من بعض العناصر المغذية بواسطة نبات الذرة*

العنصر	الكمية الميسرة فى الطبقة السطحية (كجم/ هكتار)**	الكمية الكلية الممتصة (كجم/ هكتار)	الكمية (كجم/هكتار) بواسطة:		
			الاعتراض الجذرى	التدفق الكتلى	الانتشار
كالسيوم	٤٠٠٠	٤٥	٤٠	٩٠	—
ماغنسيوم	٨٠٠	٣٥	٨	٧٥	—
بوتاسيوم	٣٠٠	١١٠	٣	١٢	٩٥
فوسفور	١٠٠	٣٠	١	٠,١٢	٢٨,٥

عن Marschner سنة ١٩٩٥.

*** على أساس أن حجم الجذر يمثل ١ ٪ من حجم التربة.**

**** حسب الكمية المقدرة باختبارات التربة.**

ويمكن توضيح هذه الطرق كما يلى:

١ - الاعتراض الجذرى والتبادل بالتماس

Root Interception and Contact Exchange

هناك عدة نقاط مهمة يجب معرفتها لكى يتضح لنا كيفية حصول النبات على ما يلزمه من العناصر المغذية بهذه الطريقة، فكما هو معروف أنه مع نمو النبات تنمو الجذور أيضاً وتتفرع الشعيرات الجذرية، ومع نموها تصل إلى أماكن من التربة لم يتطرق إليها الجذر من قبل بما فيها من عناصر غذائية ذائبة أو متبادلة، أى يحدث إمداد جديد

للنبات بالعناصر الغذائية (والماء) وهذه العملية تعرف باسم الاعتراض الجذرى **Root interception** وفيها يصل العنصر إلى الجذر عن طريق التلامس المباشر خلال المحلول الأرضى أو عن طريق تلامس الجذر مع الأيونات المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية، وهذه العملية الأخيرة تعرف باسم نظرية التبادل بالتماس **Contact exchange theory**، وتفترض هذه النظرية انتقال العناصر الغذائية من على أسطح التبادل (غرويات الأرض) إلى سطح جذر النبات مباشرة بدون المرور بالمحلول الأرضى، حيث تعتمد هذه النظرية على أن الأيونات المدمصة على أسطح الغرويات الأرضية أو على جذر النبات يكون لها حجم معين وحيز يحدث فيه تذبذب هذه الأيونات، وعند تداخل مناطق التذبذب هذه بعضها مع البعض يحدث تبادل فى مواقع الأيونات المدمصة على سطحى الغروى والجذر، والكمية المتبادلة تكون متكافئة وفى الغالب يكون التبادل بين أيونات الأيدروجين (H^+) الذى تفرزه الجذور والأيونات المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية، وهناك بعض الاعتراضات على هذه النظرية حيث إن حجم القمة النامية فى الجذر والمسئولة عن هذه العملية صغيرة جداً، وعموماً تكون كمية العناصر المغذية التى يحصل عليها النبات بهذه الطريقة صغيرة بالنسبة للكمية الكلية التى يحتاجها النبات، وذلك لان كمية المغذيات التى يمكن أن تتلامس مباشرة مع الجذر هى الكمية الموجودة فى حجم من الأرض مساوٍ لحجم الجذر، فإذا افترضنا أن الجذر يشغل ١٪ من حجم الأرض، والمسافات البينية تشغل ٥٠٪ من حجم الأرض فإن الجذر يشغل ٢٪ من المسافات البينية، وعلى ذلك يمكن حساب الكمية الميسرة للجذر بهذه الطريقة، وفى هذه الحالة سوف تكون أقل من ٢٪ من الكمية الميسرة للعنصر فى الأرض، وبصفة عامة تتوقف مساهمة هذه الطريق فى إمداد النبات بالعناصر المعدنية على : تركيز العناصر فى منطقة حجم الجذر، حجم الجذر ونسبته من حجم الطبقة السطحية للأرض وهو يمثل حوالى ١٪ وأخيراً الحجم الذى تشغله المسافات البينية من الحجم الكلى للتربة وهو يمثل عادة ٥٠٪، ولذلك تلعب طريقتا التدفق الكتلى والانتشار دوراً كبيراً فى حركة وانتقال العناصر من مسافات ليست قصيرة إلى جذر النبات .

٢ - التدفق الكتلى Mass Flow

عند امتصاص النبات للماء فى منطقة الجذور، تقل كمية الرطوبة فى هذه المنطقة، وعلى هذا ينتقل الماء من الأماكن ذات الرطوبة المرتفعة ببطء إلى سطح الجذور، وبالتالى تنتقل المغذيات النباتية الذائبة والمحمولة بهذا الماء إلى الجذور عن طريق التدفق الكتلى، وعلى ذلك تتوقف كمية المغذيات النباتية التى يحصل عليها النبات بهذه الطريقة على الاستهلاك المائى للنبات Water consumption of the plant وتركيز العناصر فى الماء وفى منطقة الجذور، تركيز العناصر قد يزداد أو يقل أو يظل ثابتاً ويتوقف ذلك على التوازن بين معدل الإمداد للجذور بواسطة التدفق الكتلى ومعدل الامتصاص بواسطة النبات.

وكمثال، فإن تركيز الكالسيوم فى الأرض يتراوح بين ٨ إلى ٤٥٠ جزءاً فى المليون، بينما تركيزه فى نبات الذرة هو ٢٢٠٠ جزء من المليون، وعلى ذلك عند التركيز المنخفض فى المحلول الأرضى من هذا العنصر لابد أن يمتص كمية ماء أكثر من وزنه بمقدار ٢٧٥ مرة لكى يحصل على هذه الكمية من الكالسيوم، وهذا لا يتأتى إلا عن طريق التدفق الكتلى، وبعبارة أخرى إذا كان معدل النتح لنبات الذرة هو ٢٧٥ وتركيز الكالسيوم فى المحلول الأرضى هو ٨ جزء فى المليون، فعند هذا التركيز تكون كمية الكالسيوم التى يمتصها نبات الذرة كافية لاحتياجاته، وفى الواقع أن معامل النتح Transpiration coefficient للنبات يتراوح بين ٣٠٠ - ٦٠٠ لتر ماء/كجم مادة جافة، وعلى ذلك نجد أن كمية أكبر من احتياجات النبات لعنصر الكالسيوم تنتقل إلى الجذر عن طريق التدفق الكتلى.

بالنسبة للفوسفور فإن الأمر يختلف تماماً عن الكالسيوم (جدول ٣ - ٢)، حيث يكون تركيز الفوسفور الذائب فى التربة منخفضاً بصفة عامة، كما هو واضح من الجدول السابق وعند التركيز المنخفض ٠,٠٣ جزء فى المليون نجد أن لكى يحصل النبات على احتياجاته من هذا العنصر ويصل تركيز الفوسفور به ٢٠٠٠ جزء فى المليون، لابد أن يكون معدل النتح هو ٦٦٦٦٦ وهذا غير منطقى، وعلى ذلك لابد وأن هناك طرقاً أخرى ينتقل بها العنصر إلى جذر النبات ومن أهم هذه الطرق هى الانتشار.

جدول (٣ - ٢): العلاقة بين تركيز بعض الأيونات في المحلول الأرضي وتركيزها في نباتات الذرة

العنصر	التركيز بالجزء فى المليون			النسبة بين تركيز العنصر فى النبات إلى تركيزه فى الأرض	
	التركيز المنخفض فى المحلول	التركيز المرتفع فى المحلول	متوسط تركيز العنصر فى النبات	النسبة إلى التركيز المنخفض	النسبة إلى التركيز المرتفع
الكالسيوم	٨	٤٥٠	٢٢٠٠	٢٧٥	٤٫٩
البوتاسيوم	٣	١٥٦	٢٠٠٠٠	٦٦٦٦	١٢٨
الماغنسيوم	٣	٢٫٤	١٨٠٠	٦٠٠	٨٫٨
النيتروجين	٦	١٧٠٠	١٥٠٠٠	٢٥٠٠	٨٫٨
الفوسفور	٠٫٠٣	٧٫٢	٢٠٠٠	٦٦٦٦٦	٢٧٨
الكبريت	١١٨	٦٥٥	١٧٠٠	١٥٥	٢٫٦

عن Barber سنة ١٩٦٢.

٣ - الانتشار Diffusion

ويقصد به تحرك الأيونات خلال المحلول الأرضى وبين مواقع التبادل على أسطح الغرويات الأرضية. ويكون اتجاه الحركة من المنطقة ذات التركيز المرتفع للأيون إلى المنطقة ذات التركيز المنخفض لنفس الأيون محكومًا بطاقته الحركية وليست حركة الماء. فعند امتصاص الأيون بواسطة النبات يقل تركيزه فى منطقة الجذور، وعلى هذا يحدث تدرج فى التركيز لهذا الأيون بالمحلول الأرضى، وهذا التدرج يتبعه تحرك الأيون فى اتجاه الجذور من التركيز المرتفع إلى التركيز المنخفض، وبمعنى آخر انتقال مع تدرج التركيز. وهناك عدة عوامل تؤثر على معدل الانتشار فى الأرض منها:

١ - **محتوى الأرض من الرطوبة**: وهنا العلاقة طردية حيث يزداد معدل الانتشار فى نفس الأرض مع زيادة محتواها من الرطوبة.

٢ - **قوام الأرض**: عند نفس الجهد من الماء فى الأرض يزداد معدل الانتشار فى الأرض الطينية عنه فى الأراضى الرملية، وذلك لاحتواء الأرض الطينية على مستوى أعلى من الرطوبة عند نفس جهد الماء وأيضا لوجود غشاء متصل للماء حول حبيبات التربة.

٣ - **المسامية**: يزداد الانتشار بزيادة نسبة المسام، حيث إن الانتشار يتم خلال المسام المملوءة بالماء.

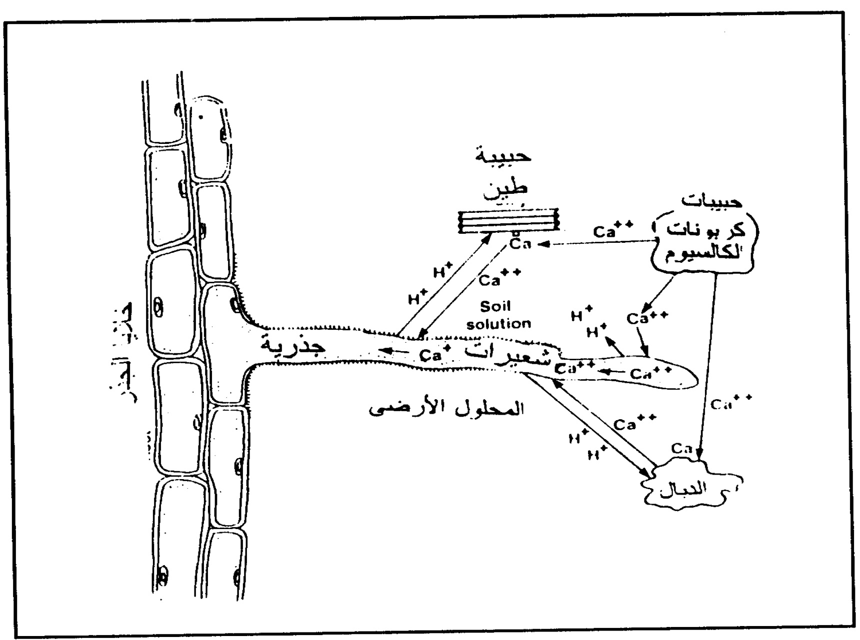
٤ - **مستوى العناصر فى الأرض**: يزداد معدل الانتشار كلما ارتفع محتوى الأرض من العناصر، حيث إن المستوى المرتفع من العناصر فى المحلول الأرضى يسمح بتدرج أكبر فى التركيز.

ثانيًا: امتصاص الأيونات بواسطة جذور النبات

Ions Uptake by Plant Roots

من المعروف بأن معظم الماء والعناصر المغذية المعدنية والتى يحصل عليها النبات من التربة تمتص بواسطة الشعيرات الجذرية والتى تكون مناطق الامتصاص الكبرى فى النباتات، ويرجع ذلك لأن جدر خلايا بشرتها خالية من المواد الشمعية والكيتينية والتى تعوق عملية الامتصاص. وعلى الرغم من صغر المساحة التى تشغلها منطقة الامتصاص فى الجذر إلا أن وجود الشعيرات الجذرية بهذه المنطقة يضاعف إلى حد كبير سطح الامتصاص، أيضا نتيجة تغلل الشعيرات الجذرية بين حبيبات التربة تعرض سطح الامتصاص لأكبر حجم ممكن من الوسط الخارجى. ويوضح شكل (٣ - ٢) كيفية وصول الأيونات من التربة سواء الذائبة فى المحلول الأرضى أو المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية المعدنية منها أو العضوية إلى سطح الشعيرات الجذرية وانتقالها داخل الشعيرة فى اتجاه خلايا الجذر.

ونظرًا لأهمية الجذر فى عملية الامتصاص فيكون من الضرورى الإشارة إلى تركيب جذر النبات والخلية النباتية كى يتسنى لنا تفهم النظريات التى تحاول تفسير عمليات الامتصاص.



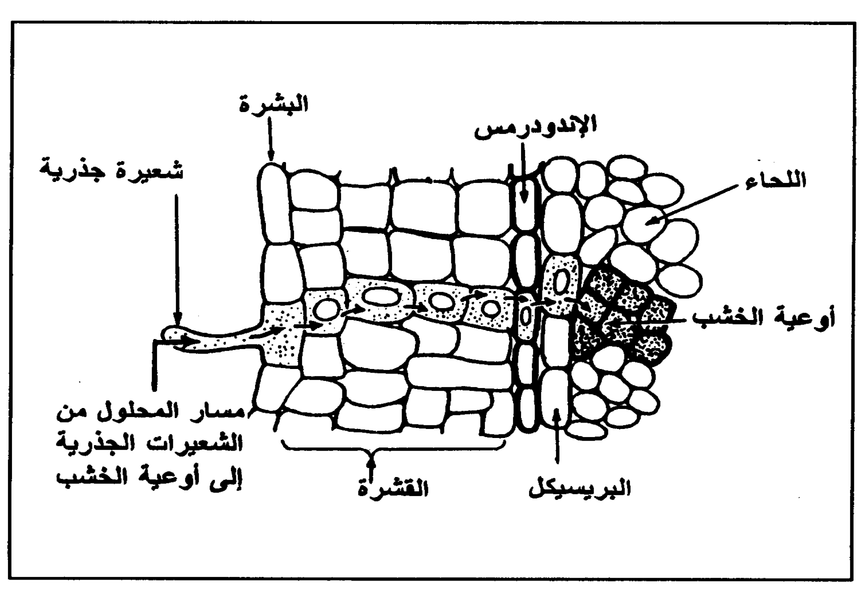
شكل (٣ – ٢) : رسم تخطيطي يوضح كيفية امتصاص الشعيرات الجذرية للأيونات من التربة

تركيب الجذر Root Structure

عند فحص قطاع عرضى فى جذر حديث من منطقة الامتصاص ومن الخارج إلى الداخل شكل (٣ – ٣)، نجد أن أول طبقاته هى **البشرة** وتكون اسطوانة تغلف الجذر سمكها خلية واحدة، ويخرج من معظم خلاياها شعيرات جذرية جدرها خالية من أى تغليظ أو أى مادة تمنع نفاذ الماء أو الأيونات. وعلى ذلك ينتشر الماء بما يحويه من أيونات خلال جدرها بسهولة تامة، وتتميز خلايا هذه الطبقة باحتوائها على فجوات عصارية كبيرة، كما أن جدرها مغطاة بطبقة مخاطية لتزيد من قدرتها على الالتصاق بالتربة.

يلى طبقة البشرة طبقة **القشرة** والتى تتكون من عدة صفوف من خلايا بارنشيمية

ذات جدر رقيقة منفذة للماء بسهولة . ويلى ذلك **الإندودرمس** وهى طبقة من الخلايا والتى تتغلظ جدرها العليا والسفلى والجانبية ولكنها خالية من التغليظ فى الجدر المواجهة للقشرة وللاسطوانة الوعائية، وعلى ذلك يأخذ التغليظ شكل شريط أو حزام يسمى شريط كسبرى **Casparian strip** . وفى الجذور حديثة السن يتكون هذا الشريط من مادة فلينية متكوتنة، بينما فى الجذور المسنة تتغلظ كل جدر خلايا الإندودرمس، وعلى هذا يمنع مرور الماء فيما عدا بعض الخلايا التى تسمح بنفاذ الماء إلى الأوعية الخشبية وتسمى هذه الخلايات بخلايا المرور **Passage cells** .



شكل (٣ - ٣): رسم تخطيطى يوضح قطاعاً عرضياً فى جذر النبات

الاسطوانة الوعائية: هى تلى طبقة الإندودرمس وأول طبقاتها هو نسيج البريسيكل، ويكون اسطوانة تغلف الاسطوانة الوعائية، وفى الغالب يكون سمكه خلية واحدة وخلاياه إسكلرنشيمية أو بارنشيمية، وينفذ الماء بسهولة خلال جدره إلى أوعية

الخشب. ويوجد الخشب فى المركز فى مجاميع مثلثة الشكل ومتبادلة مع مجاميع اللحاء مكونًا حزمًا وعائية قطرية. وأوعية الخشب خلايا ميتة تمتد بطول النبات أغلظت جدرها الجانبية بمادة اللجنين وهى مادة لا تمنع نفاذ الماء إلى الداخل.

تركيب الخلية النباتية Plant Cell Structure

بين شكل (٣ - ٤) رسمًا مبسطًا للخلية النباتية موضحًا أهم مكوناتها وهى:

أولاً: الجدار الخلوى Cell Wall

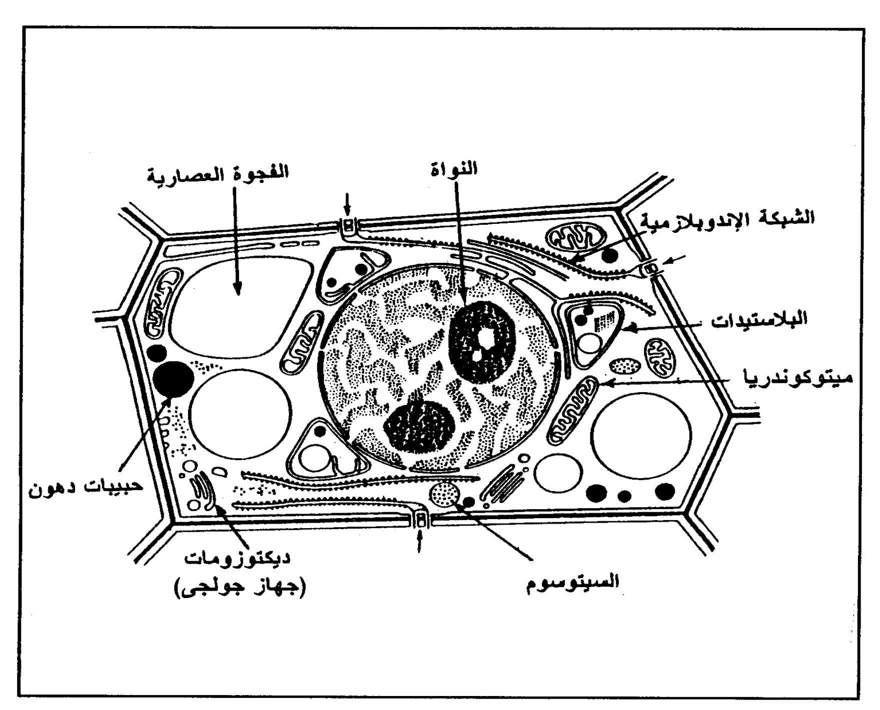
عبارة عن جدار صلب مسامى يغلف الخلية النباتية من الخارج ويحيط بجميع محتويات الخلية. ويفرز هذا الجدار أساسًا من البروتوبلاست. وعادة يتكون من مواد كيميائية خاملة حيث يدخل فى تركيبه مواد بكتينية مع السليلوز وبعض المواد الأخرى مثل الهيميسليولوز وقليل من البروتين والدهون. وبصفة عامة تختلف الجدر الخلوية من خلية إلى أخرى فى الشكل والسمك ووظيفتها وعمرها رغم أنها تمتاز بتماثلها فى التركيب. ويتميز الجدار الخلوى لأى خلية بالغة إلى:

- الجدار الأولى Primary Wall

يحيط بالصفيحة الوسطى ويتكون من السليولوز والهيميسليولوز مع وجود بعض المواد البكتينية والتى تتخلله كميات قليلة من البروتين والدهون. ويمتاز هذا الجدار بالمرونة العالية لاحتوائه على السليولوز، وهذا يؤدى إلى زيادة حجم الخلية مع النمو نتيجة امتلائها بالمواد الغذائية، ويمتاز بالقدرة العالية على التشرب بالماء نظرًا لطبيعته الغروية، أيضًا يمتاز هذا الجدار بمساميته والتى تنشأ من تشابك ألياف السليولوز المكونة له مع بعضها البعض وبطريقة مغزلية غير منتظمة، وهذه المسام الشعرية تسمح بمرور المحاليل من وإلى الخلية بسهولة. ومن هنا لا يستطيع الجدار أن يتحكم فى مرور المحاليل إلا إذا تم ترسيب بعض المواد الكارهة للماء على هذا الجدار. ومع قرب نهاية النمو للخلية يبدأ ترسيب مواد أخرى ثانوية مثل الكيوتين والسوبرين الشمعية وغير المنفذة للماء على الجدر الأولية لتكوين الجدر الثانوية.

- الجدار الثانوى **Secondary Wall**

ويتكون أساسًا من السليولوز الذى يوجد فى صورة طبقات يتخللها مواد تزيد من صلابته مثل: البكتين واللجنين وكذلك المواد الشمعية مثل السوبرين والكيوتين غير المنفذة للماء.



شكل (٣ - ٤): رسم تخطيطى يوضح تركيب الخلية النباتية

وفى العادة توجد عدة ثقوب **Pits** فى الجدار الخلوى نتيجة لعدم ترسيب مواد من مكونات الجدار الثانوى فيها، وهذه الثقوب غير معروف وظيفتها بالخلايا. بالإضافة إلى ذلك يوجد فى كل من الجدارين الأولى والثانوى نوع آخر من الثقوب تسمح بمرور

شعيرات سيتوبلازمية من خلالها تسمى بالبلازموديزمات Plasmodesmata وهى تنشأ غالبًا كامتداد للشبكة الإندوبلازمية وهى تعمل على ربط بروتوبلاست الخلايا المتجاورة ببعضها لتكون مجتمع من الخلايا يسمىPymplast، وتعمل هذه الروابط على تسهيل مرور المواد الغذائية من خلية إلى أخرى بدون حدوث عوائق. وتعمل الجدر الخلوية بجانب تحديد شكل الخلية النباتية وتوفير الحماية الكافية لها على إمرار الماء عن طريق التشرب ورفع الماء والأملاح إلى داخل الخلايا فى اتجاه البرتوبلازم.

ثانيًا : البروتوبلاست Protoplast

وهو عبارة عن كل المكونات الحية بالخلية، وفيه تحدث جميع العمليات والأنشطة الحيوية والفسيولوجية: مثل عمليات البناء، التمثيل، التكاثر والنمو. ويقوم بتبطين الجدار الخلوى من الداخل وبذلك يغلفه غشاء حى سيتوبلازمى ذو نفاذية اختيارية Differentially permeable membrane. ويقسم البروتوبلاست إلى قسمين:

(١) البروتوبلازم Protoplasm : عبارة عن سائل لزج عديم اللون به عدة حبيبات دقيقة معلقة غير قابلة للذوبان فى الماء ومنها بروتينات، كربوهيدرات، مواد دهنية بجانب العناصر الغذائية غير العضوية مثل: البوتاسيوم، الفوسفور، الكالسيوم، الماغنسيوم، الكبريت، الحديد... وعند موت الخلية يفقد هذا السائل خاصيته السائلة، وينقسم البروتوبلازم إلى قسمين:

أ – السيتوبلازم Cytoplasm : وهو سائل شفاف عديم اللون يملأ معظم فراغ الخلية المرستيمية، ويحيط بالفجوة العصارية للخلايا البالغة، ويمتاز السيتوبلازم بأنه يجمع بين صفتى السيولة والمرونة، حيث يكون فى الخلايا النشطة فسيولوجيًا فى حالة شديدة من السيولة والانسياب حول الأسطح الداخلية لجدر الخلايا، والتى عن طريقها يتم نقل المواد الغذائية المختلفة والعمل على توصيل وربط الخلايا ببعضها البعض. ويوجد منغمسًا فى السيتوبلازم البلاستيدات بأنواعها، الميتوكاندريا، الليبوسومات، الشبكة الإندوبلازمية، الريبوسومات، السفيروسومات وجهاز جولجى. ومن أهم مكونات السيتوبلازم الأغشية السيوبلازمية Cytoplasmic membrane – وهى عبارة عن غشاء بلازمى خارجى يحيط بالسيتوبلازم ويسمى

Plasmalemma وغشاء آخر داخلى يحيط بالفجوة العصارية ويسمى Tonoplast . وتمتاز هذه الأغشية بالحيوية وقدرتها على تحديد واختيار نوع وكمية المواد الذائبة التى تمر من وإلى الخلية، وذلك لكونها أغشية حية شبه منفذة. وتتكون الأغشية السيتوبلازمية أساسًا من طبقتين من البروتين بينهما طبقة من الدهون (الليبيدات) فلقد اقترح Overton سنة ١٩١١ أن هذه الأغشية تحتوى على مواد شبيهة بالدهون Fat - Like Substance، حيث لاحظ وجود علاقة طردية بين نفاذية الأغشية السيتوبلازمية ودرجة نفاذية المواد غير القطبية Nonpolar groups، حيث إنه من المعروف أن المواد غير القطبية تذوب فى الدهون ومذيباتها بسهولة. ولقد افترض Nathansohn أن الغشاء البلازمى ذو تركيب خليط من الدهون والبروتين، وتشير الدلائل على أنه تتواجد طبقتان من البروتين على الأسطح الخارجية والداخلية للغشاء البلازمى تعمل كغلاف لطبقتين دهنيتين من نوع الفوسفوليبيد. وتتميز طبقة البروتين بأنها تحمل شحنة كهربائية سالبة، حيث إنها تتكون من اتحاد لجزيئات أحماض أمينية مختلفة، فى حين أن طبقات الدهون الداخلية وحدة تركيبها جزيئات من الأحماض الدهنية المختلفة. ووجد أن الأحماض الدهنية لها طرفان أحدهما محب للماء Hydrophilic قطبية من الكولين والجلسرين، وطرف كاره للماء Hydrophobic غير قطبى ويتكون من أحماض دهنية طويلة السلسلة مشبعة أو غير مشبعة، وتتقابل نهاية الأحماض الدهنية الكارهة للماء داخل الغشاء فتمنع مرور أى مركبات قطبية من ماء وذائبات وأيونات غير عضوية، فى حين تُغطى الحواف الخارجية لطبقات الدهون بالبروتين. ويوجد تصور آخر مضمونه بأن طبقة الدهن المزدوجة لا تُغطى بطبقتى بروتين، بينما يوجد البروتين فى تكتلات ظاهرة وبارزة على السطح الخارجى، أو قد تكون منغمسة فى طبقة الدهن المزدوجة مكونًا بروتين داخلى، وهنا تعمل طبقة البروتين كقناة تسمح بمرور الماء والذائبات.

ومن السابق نجد أن الغشاء البلازمى يعمل كحاجز يمنع انتقال الذائبات والأيونات، على الرغم من مرور بعض الجزئيات من خلاله بسهولة، ومن المؤكد بأن مثل هذه

المركبات ذات خصائص معينة. أيضًا يكون من المؤكد وجود وسيلة ما يتم بها اختراق الأيون لهذا الجدار، وهذا ما سوف نتعرض له لاحقًا. ويمكن إيجاز أهمية الأغشية السيتوبلازمية فى:

١ – تعمل على تنظيم تبادل المواد الذائبة بين الخلية والوسط المحيط بها.

٢ – تنظيم حركة الذائبات داخل وبين الخلايا.

٣ – عزل بعض التفاعلات الكيميائية عن بعضها داخل الخلية.

٤ – حمل بعض الإنزيمات المهمة للخلية.

٥ – الاحتفاظ بالمواد الذائبة الضرورية للخلية وأساسًا داخل الفجوة العصارية.

٦ – ربط واتصال الخلايا ببعضها.

ب – **النواة Nucleus**: وهى الجزء الثانى من مكونات البروتوبلازم وهى عبارة عن جسم بروتوبلازمى كروى أو بيضاوى كثيف لامع يوجد منغمسًا فى السيتوبلازم. وبصفة عامة تحتوى الخلية على نواة واحدة عدا بعض الحالات القليلة توجد أكثر من نواة فى الخلية الواحدة. وتحاط النواة بغشاء نووى يشبه فى تركيبه الأغشية البلازمية، ويمتاز هذا الغشاء بوجود ثقوب به تسمح بمرور المواد البروتينية والأحماض النووية (RNA) وغيرها من النواة إلى السيتوبلازم بالخلية. وتحتوى النواة بداخلها على السائل النووى Nuclear Sap، أو Nucleoplasm أيضًا تحتوى على الأحماض النووية RNA و DNA وبعض الإنزيمات الهامة بجانب الشبكة النووية، وتعتبر المادة الوراثية، والتى يتكون منها الكروموسومات نتيجة تكاثفها عند انقسام الخلية.

(٢) المحتويات الخاملة Ergastic Substances: وهو القسم الثانى من البروتوبلاست، وتشمل جميع المكونات غير النشطة حيويًا، وتحتوى جزءًا سائلاً والمتواجد فى الفجوة العصارية Vacuole، ويعرف باسم العصير الخلوى Cell Sap وهو عبارة عن محلول حامضى التأثير ذو رقم pH يتراوح بين ٥,٥ – ٦,٥. فى حين أن هذا الرقم لباقى مكونات الخلية يكون فى مدى من ٦,٨ – ٧ أى متعادل تقريبًا. ومن أهم

مكونات العصير الخلوى الغازات - السكريات - الأملاح المعدنية - القلويدات - أحماض عضوية - بروتينات ذائبة. وعمومًا تقوم الفجوة العصارية بدور هام فى تنظيم امتصاص الخلية للماء كما أنها تساعد على انتفاخها لتأخذ الشكل الخاص بها، هذا بجانب قيامها بعملية الإخراج للخلية. هذا ومن المكونات الخاملة فى الخلية الزيوت وبعض المحتويات الصلبة البلورية وغير البلورية.

نظريات الامتصاص Absorption Theories

بعد هذا الشرح المبسط لتركيب الجذر والخلية النباتية يجدر بنا الانتقال وإلقاء الضوء على كيفية امتصاص العنصر الغذائى والذى يعبر عنه بعدة مصطلحات مثل: Absorption أو Intake أو Uptake وهى لا تعنى إلى طريقة أو ميكانيكية محددة لامتصاص الأيونات، وإنما تشير كلها إلى معنى واحد وهو دخول الأيونات إلى داخل جذر النبات. كذلك يوجد اصطلاح تراكم Accumulation، والتى تشير إلى تحرك الأيونات ضد تدرج التركيز وهى عملية حيوية.

وعندما يصل عنصر ما فى صورته الأيونية إلى أسطح جذور النبات فإن هناك ثلاثة احتمالات يمكن ان تحدث له وهى:

١ - ادمصاصه على أسطح خلايا الجذر نتيجة لتوفر الشحنة الكهربائية على هذه الأسطح.

٢ - اختراقه خلايا الجذر عن طريق الحركة الحرة Passive movement، وذلك خلال الجزء من الخلية المسمى بالفراغ الحر Free Space.

٣ - تراكمه Accumulation داخل الخلايا عن طريق ما يسمى بالامتصاص النشط Active Uptake أو الامتصاص الحيوى Metabolic Uptake.

أى أن عملية الامتصاص للعناصر الغذائية إما ان تكون خلال وسيلة انتقال حُر، أى لا تحتاج إلى طاقة أو ميكانيكية انتقال حيوى وهو ما سنتناوله بشىء من الإيجاز.

ويجب الاخذ فى الاعتبار أن يوجد تعارض شديد بين تركيز العناصر فى المحلول الأرضى من جهة، ومدى احتياجات النباتات لتلك العناصر. علاوة على ذلك نجد أن تركيز بعض العناصر يتضاعف عدة مئات المرات فى الأنسجة النباتية عنه فى المحلول الارضى، وفي معظم الأحيان يكون التركيز داخل الأنسجة النباتية أكبر بكثير من احتياجات النباتات لهذه العناصر، وفى نفس الوقت نجد أن تركيز البعض الآخر من العناصر يكون أعلى فى المحلول الأرضى عنه فى الأنسجة النباتية. وعلى ذلك يمكن القول بأن عملية الامتصاص عملية اختيارية. وفى البداية تم دراسة ذلك باستخدام خلايا الفطريات وهى خلايا ذات جدارين (بلازما Plasms وتونوبلاست Tonoplast).

يعتبر العالم الأمريكى هوجلاند (Hoagland) ومعاونيه سنة ١٩٤٨ أول من أشاروا إلى ظاهرة التجمع والاختيارية فى الامتصاص، حيث قام ببعض التجارب التى أوضحت الكثير من جوانب عملية الامتصاص للأيونات بواسطة النبات. حيث استعمل فى دراسته طحالب ذات خلايا كبيرة الحجم حتى يتمكن من فصل مكونات العصارة الخلوية لها، ثم تقدير محتواها من الأيونات المختلفة. ففى تجربة عن امتصاص العناصر بواسطة طحلب النيتلا Nitella الذى ينمو فى المياه العذبة وطحلب الفالونيا Valonia الذى ينمو فى مياه البحار، ظهر أن تركيز الأيونات فى الفجوة العصارية لهذه الطحالب لا يتمشى مع تركيز الأيونات فى المياه التى تعيش فيها، حيث يتواجد فى الفجوة العصارية لطحلب النيتلا العديد من العناصر بتركيز مرتفع جداً عن تركيزاتها فى الماء الذى تنمو فيه، فمثلاً البوتاسيوم يتضاعف تركيزه ١٠٨٠ ضعفًا، الصوديوم ٤٥ ضعفًا، الكالسيوم ١٣ ضعفًا، والكلوريد ٩٨ ضعفًا. وعكس ذلك بالنسبة لطحلب الفالونيا الذى يعيش فى مياه البحار عالية الملوحة، فنجد أن تركيز كل من الصوديوم والكالسيوم قد انخفض فى العصير الخلوى فيما عدا البوتاسيوم الذى زاد تركيزه كثيراً فى الفجوة العصارية عن تركيزه فى ماء البحر، كما يتضح ذلك من جدول (٣ – ٣). ويمكن تلخيص نتائج هوجلاند ومساعديه فيما يلى:

١ - النبات يمتص الأيونات اختياريًا. ويتضح ذلك مع عنصر البوتاسيوم القليل التركيز جدًا في مياه المستنقع بالمقارنة بباقي الأيونات الأخرى، حيث يُعتبر من أكثر الأيونات تجمعًا في الفجوة العصارية لطحلب النيتلا. وعكس ذلك عنصر الصوديوم يظل تركيزه منخفضًا في فجوة الفالونيا عن تركيزه المرتفع جدًا في ماء البحر. أى أن خلايا النبات يمكن أن تمتص أيونات من وسط النمو وتنقلها إلى داخلها، بينما تستبعد أيونات أخرى. وتسمى هذه الظاهرة الامتصاص الاختيارى Selective ion Uptake.

٢ - من النتائج نجد أن هناك ارتفاعًا في تركيز كثير من الأيونات في الفجوة العصارية بالمقارنة بتركيزاتها في المحلول الخارجي، وهذا يؤكد أن تجمع الأيونات بواسطة الخلية يتم ضد تدرج التركيز Against Concentration gradient.

جدول (٣ - ٣): العلاقة بين تركيز بعض الأيونات في العصير الخلوي للطحالب والوسط الخارجي

الطحلب ⇐ / الأيون ⇓	النيتلا التركيز (ملليمول).			الفالونيا التركيز (ملليمول)		
	(أ) في ماء المستنقع	(ب) في العصير الخلوى	النسبة (ب) على (أ)	(أ) في ماء البحر	(ب) في العصير الخلوى	النسبة (ب) على (أ)
البوتاسيوم	٠,٠٥	٥٤	١٠٨٠	١٢	٥٠٠	٤٢
الصوديوم	٠,٢٢	١٠	٤٩٨	٤٩٨	٩٠	٠,١٨
الكالسيوم	٠,٧٨	١٠	١٢	١٢	٢	٠,١٧
الكلوريد	٠,٩٣	٩١	٥٨٠	٥٨٠	٥٩٧	١

عن Marschner سنة ١٩٩٥.

٣ - أيضًا تشير النتائج بأن عملية الامتصاص تحتاج إلى طاقة ومصدر هذه الطاقة هو ناتج عمليات الميتابوليزم (التمثيل الحيوى) فى الخلية .

كل ما ذكر عن الطحالب من ناحية امتصاصها للعناصر المغذية ينطبق تمامًا على النباتات الراقية . حيث توضح نتائج إحدى الدراسات كما ذكرها Marschner سنة ١٩٩٥ على نوعين مختلفين من النباتات مثل : الذرة واللوبيا، تم تنميتها فى محلول مغذى محدد الحجم، وبعد أربعة أيام تم قياس تركيز العناصر فى المحلول المغذى فوجد أن تركيز البوتاسيوم، والفوسفور، والنترات قد انخفض بشدة . فى حين يظل تركيز الصوديوم والكبريتات كما هو أو يزداد قليلاً، وهذا يدل على أن معدل امتصاص النبات للماء أسرع من امتصاصه الأيونات يختلف من نبات إلى آخر وهذا واضح تماما بالنسبة لامتصاص البوتاسيوم والكالسيوم بواسطة الذرة واللوبيا . كذلك يتضح أن تركيز الأيونات فى العصير الخلوى للجذر أعلى بكثير منه فى المحلول المغذى وخاصة بالنسبة لأيونات البوتاسيوم، النترات والفوسفات .

ومن النتائج المعروضة بجدول (٣ - ٣، ٣ - ٤) سواء بالنسبة للطحالب أو النباتات الراقية يمكن توصيف عملية امتصاص النباتات للأيونات بما يلى :

١ - **اختيارية Selectivity** : حيث يتضح بأن هناك أفضلية لبعض العناصر من حيث امتصاصها بواسطة نبات معين عن البعض الآخر .

٢ - **تجميع أو تراكم Accumulation** : أى يُصبح تركيز العنصر داخل العصير الخلوى فى النبات أعلى بكثير منه فى المحلول الأرضى .

٣ - **وراثيًا Genotype** : حيث تختلف النباتات فيما بينهما فى صفة امتصاصها للأيونات .

جدول (٣-٤) : التغير في تركيز الأيونات بالمحلول المغذي والعصير الخلوي لجذور نباتات الذرة واللوبيا

الأيون	تركيز المحلول المغذى (ملليمول)			تركيز الأيونات (ملليمول)	
	فى البداية	بعد ٤ أيام		فى عصير الجذور	
		الذرة	اللوبيا	الذرة	اللوبيا
البوتاسيوم	٢,٠٠	٠,١٤	٠,٦٧	١٦٠	٨٤
الكالسيوم	١,٠٠	٠,٩٤	٠,٥٩	٣	١٠
الصوديوم	٠,٣٢	٠,٥١	٠,٥٨	٠,٠٦	٦
الفوسفات	٠,٢٥	٠,٠٦	٠,٠٩	٦	١٢
النترات	٢,٠٠	٠,١٣	٠,٠٧	٣٨	٣٥
الكبريتات	٠,٦٧	٠,٦١	٠,٨١	١٤	٦

عن Marcshner سنة ١٩٩٥.

مما سبق نجد أن عملية انتقال الأيونات من المحلول الأرضى إلى داخل الخلية النباتية عملية معقدة وهو ما أوجد العديد من النظريات التى تحاول تفسير هذه العملية الحيوية. ولقد اتضح من دراسة هذه النظريات أن ميكانيكية واحدة للامتصاص لا تكفى.

من المتفق عليه الآن إنه لكى يدخل العنصر إلى داخل الخلية فلابد له أن يمر خلال غشاءين، الأول الجدار الخلوى وكما هو معروف يتركب من مواد سيلولوزية بينها فجوات مملؤة بالماء والغازات، وهذا الغشاء مُنفذ تماماً للماء والعناصر الذائبة، والغشاء الثانى هو غشاء البلازما لما والذى يفصل بين الجدار الخلوى والسيتوبلازم وهو غشاء شبه منفذ للعناصر المختلفة. وبالتالى تتم عملية امتصاص العنصر من المحلول الأرضى وتراكمه داخل الخلية على خطوتين:

الأولى: هى الامتصاص البسيط Passive uptake، والثانية: هى الامتصاص النشط

Active uptake وسوف نتناول الطريقتين بإيجاز :

أولاً : الامتصاص البسيط Passive Uptake

وفيه ينتقل الأيون أو الجزيء من المحلول الأرضي ذو التركيز المرتفع منها إلي الجدار الخلوى حيث تركيزها المنخفض نسبياً بدون أى عائق وبطريقة عكسية حتى يصل إلي حالة الاتزان، أى عن طريق الانتشار أو التدفق الكتلى . وقد أطلق العلماء على الجزء من الخلية (أو النسيج النباتي) والتى تتحرك فيه الأيونات بواسطة الانتشار اسم الفراغ الحر Free space والذى يشغل مساحة محسوسة من نسج الجذر حوالي ١٠٪ من حجم الجذور الحديثة، ويشمل الجدر الخلوية لخلايا طبقة البشرة، وطبقة القشرة، كذلك المسافات البينية بين خلايا القشرة ويتم انتقال الأيونات من المحلول الأرضي إلى الفراغ الحر فى الخلية بطريقتين هما :

أ- **الانتشار Diffiusion** : فمثلاً عند وضع الخلية أو نسيج نباتى في محلول ملحى، فنجد أن الأيونات تنتقل من المحلول حيث التركيز المرتفع إلى الفراغ الحر حيث التركيز المنخفض وذلك عن طريق الانتشار وتستمر هذه العملية حتى يتساوى التركيز داخل وخارج الفراغ الحر فيتوقف الانتشار .

ب - **الادمصاص Adsorption** : نظراً لوجود شحنات سالبة على الجدار الخلوى للجذر نتيجة لوجود مجموعات الكربوكسيل ($R- COO^-$) فمن الممكن أن تدمص الكاتيونات عليها عن طريق قوى الجذب الإلكتروستاتيكية مما يساعد فى انتقال الكاتيونات من المحلول وتراكمها فى داخل الفراغ الحر، بينما يحدث تنافر للأنيونات، ويلاحظ أن هذه العملية لا تحتاج إلي أى عمليات حيوية .

جـ - **اتزان دونان Donnan Equilibirium** : وفيه يحدث حالة من الاتزان على جانبى غشاء ما بدون تساوى تركيز الأيون الواحد، ويحدث ذلك عندما يسمح غشاء يفصل بين محلولين لأيون واحد من زوج من الأيونات بالمرور خلاله ولا يسمح بمرور الأيون الآخر، وهنا يتم الاتزان بفرض أن الأيونات الداخلة فى النظام أحادية التكافؤ إذا كان حاصل ضرب التركيز الجزيئى Molar Concentration للكاتيونات والأنيونات على جانب من الغشاء يتساوى مع حاصل ضرب تلك الأيونات على الجانب الآخر من الغشاء. وقد وجد أن هذا الاتزان لايحدث غالباً كما شرحه

Donnan في خلايا النباتات الحية . حيث وجد بعد ذلك أن جذور النباتات الراقية لها القدرة علي أن تمتص الأيونات ضد تدرج التركيز بالرغم من أن اتزان دونان لا يحدث فى كثير منها، مما يدل على أن البروتوبلازم له قدرة اختيارية علي امتصاص العناصر. مما سبق يمكن إيجاز خصائص الامتصاص البسيط فيما يلى :

١ – لايحتاج إلى طاقة أى لايعتمد على النشاط الحيوى للخلية (حيث إن عملية الانتشار والادمصاص يمكن أن تتم فى أنسجة النبات الحية أو الميتة، أيضاً يمكن أن تتم فى المواد المُخلقة صناعياً سواء بسواء) .

٢– الامتصاص يتم بطريقة عكسية .

٣– الامتصاص هنا ليس اختيارياً .

٤– الانتشار البسيط عملية بطيئة جداً ولا تفسر كيفية امتصاص النباتات للأيونات والعناصر الغذائية ضد تدرج التركيز، كما أنها لا تتميز بالسرعة اللازمة لحياة النبات ونموه .

وعلى ذلك يمكن القول بإن الانتشار البسيط واتزان دونان يعجزان عن تفسير الطريقة التى يمتص بها النبات العناصر الغذائية ويجمعها ضد تدرج التركيز.

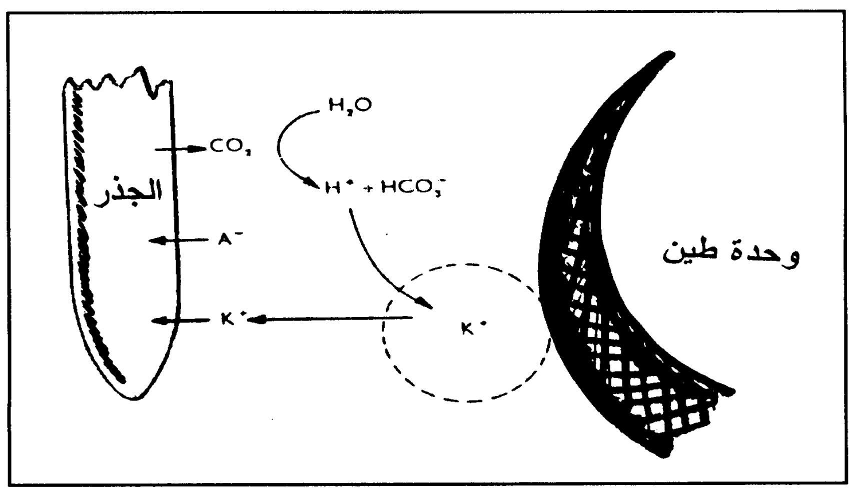
ثانياً : نظرية التحول الكيميائى

وتفترض هذه النظرية أن الأيونات الممتصة قد تدخل فى تفاعل كيميائى بمجرد دخولها الخلية، أى يحدث لها تحول إلى صورة أخرى، وعلي ذلك يستمر دخولها إلى الخلية رغم انخفاض تركيزها خارج الخلية . وتفسر نظرية التحول الكيميائى كيفية انتقال جزئيات السكر من أماكن تخليقها فى الأوراق إلى أماكن تخزينها فى الدرنات أو الثمار على صورة نشا، وبذلك يظل تركيز السكر منخفضاً فى أعضاء التخزين مما يشجع علي استمرار انتقاله إليها . ومع ذلك فهذه النظرية تعجز عن تفسير استمرار تجمع النترات والبوتاسيوم فى الفجوة العصارية بدون تحول كيميائى إلى أن بلغ تركيزها داخل الفجوة عشرات الأضعاف من تركيزها خارج الخلية .

ثالثا : نظرية الامتصاص التبادلى (نظرية ثانى أكسيد الكربون CO_2)

بنى أساس هذه النظرية على الملاحظة التى مؤداها أن كمية الأيونات التى يمتصها النبات تتناسب طردياً مع كمية CO_2 الناتجة من التنفس، وهنا يكمن الاعتقاد بوجود

علاقة بين امتصاص النبات لأيونات العناصر، وحمض الكربونيك Carbonic acid (H_2CO_3) ، وتعتمد هذه النظرية علي اعتبار سطوح جذور النبات سطوح فعالة ونشطة لها خاصية التبادل الأيونى، وسبق ذكر أن الأغشية السيتوبلازمية وهى أحد مكونات البروتوبلازم تحمل شحنات كهربائية غالبا تكون سالبة وعلى ذلك يكون من المتوقع وجود طبقة كهربائية مزدوجة علي هذا السطح، الداخلية منها سالبة بينما الخارجية تكون موجبة وتتكون من الكاتيونات المتبادلة، أى أن للجذور سعة تبادلية كاتيونية والتى تختلف حسب نوع النبات وعمره ودرجة تركيز أيون الأيدروجين. . إلخ، وفى العادة تكون الجذور الغليظة ذات سعة تبادلية كاتيونية عالية بالمقارنة بالجذور الرفيعة، وسبق الإشارة لها قبل ذلك. شكل (٣-٥) يفسر نظرية غاز ثانى أكسيد الكربون CO_2، وفيها يحدث ذوبان لغاز ثانى أكسيد الكربون المتكون من عملية التنفس فى المحلول الأرضى يتكون حامض الكربونيك وبتأين الحامض ينتج أيون الأيدروجين والذى يتبادل مع البوتاسيوم المتبادل على أسطح الغرويات الأرضية، وينطلق البوتاسيوم فى المحلول الأرضى أو يتفاعل مع أيون البيكربونات، ويعود إلى سطح الجذر ويتبادل مع أيدروجين سطح الجذر، وبالتالى يكون من السهل امتصاصه من قبل النبات.



شكل (٣-٥) : رسم توضيحي لدور نظرية حمض الكربونيك في الامتصاص

ويجب ملاحظة أن الكاتيونات المتبادلة على أسطح الجذور لايمكنها أن تنفرد ثانياً إلى الخارج إلا بتبادلها مع كاتيونات أخرى متواجدة فى منطقة الريزوسفير، أما عملية تبادل الأنيونات فهى ضئيلة جداً بالمقارنة بعملية تبادل الكاتيونات السائدة على جذور النبات.

رابعاً: نظريات الامتصاص النشط Active Uptake

من النتائج المبوبة في جدول (٣-٤) يتضح جلياً انتقال الأيونات ضد تدرج التركيز، وعلى سبيل المثال نجد أن تركيز البوتاسيوم فى الفجوة العصارية لجذور نباتات الذرة يزيد حوالى ٨٠ مرة عنه فى المحلول المغذى. وعلى العكس نجد أن تركيز الصوديوم في العصير الخلوى لجذر نفس النبات يظل منخفضا بالمقارنة بالتركيز فى المحلول الخارجى، وهذا يؤكد بأن هناك مفاضلة فى امتصاص العناصر. ولايمكن أن يحدث ذلك تلقائياً بل يحتاج إلى طاقة وطبيعى أن يكون مصدر هذه الطاقة النشاط الحيوى بالخلية وعلى ذلك أُطلق على هذا الامتصاص اسم الامتصاص النشط أو الامتصاص الحيوى. وهناك بعض الشواهد التى تؤكد أن هذا الامتصاص يحتاج إلي طاقة منها:

١- يزداد معدل امتصاص الأيونات بارتفاع درجة الحرارة (حتى حدود معينة) وذلك لأن الحرارة تزيد من النشاط الحيوى للخلية.

٢- يزداد معدل الامتصاص مع زيادة ضغط الأكسيجين فى وسط نمو الجذور، أى أن الامتصاص مرتبط بعملية التنفس. وقد لوحظ أن عملية الامتصاص تقل بإضافة مثبطات لعملية التنفس.

٣- يزداد معدل الامتصاص مع زيادة محتوى الجذر من الكربوهيدرات حيث تعمل هذه المركبات كمصدر للطاقة.

وتحاول نظريات الامتصاص النشط (الحيوى) تفسير ما عجزت عنه النظريات السابقة من إمكانية امتصاص النبات للعناصر وتراكمها فى الفجوة العصارية ضد تدرج التركيز وكذلك كيفية امتصاص النبات للأنيونات السالبة الشحنة واختراقها لسطح الجذر ذات الشحنة السالبة، ومن هذه النظريات:

١ – نظرية الناقل (المواد الحاملة) Carrier Theory

بجانب نتائج تجارب هوجلاند السابق ذكرها على الطحالب، نجد أن النباتات تعتمد فى حياتها على تفضيل نوع معين من الأيونات على حساب أنواع أخرى إذا ما وجد الجميع معا فى وسط نمو الجذور كما يتضح ذلك مع نباتات الذرة (جدول ٣–٢). ويعنى هذا أن النظام الناقل للأيونات إلى داخل الكائن الحى يمكنه التمييز بين أنواع الأيونات الموجودة خارج هذا الكائن حتى ولو كانت هذه الأيونات على درجة كبيرة من التشابه، أى أن هذا الانتقال اختيارى وفى نفس الوقت حيوى. وهنا يكون من المؤكد وجود مادة أو مواد معينة داخل جسم النبات لها القابلية لحمل أيون معين دون آخر، حيث يُحمل الأيون عليه مكونا معقد الحامل والأيون، ويتحرك هذا المعقد من الخارج إلي الداخل فقط ويتحرر الأيون فى داخل الفجوة العصارية ويستعيد الحامل نشاطه وقدرته على نقل أيون معين آخر.. وهكذا. وتختلف الآراء حول طبيعة المواد الحاملة فيرى البعض بأنها عبارة عن مادة السيتوكروم كما اقتراح لونداجارد، أو مواد عضوية مشابهة للمواد التى اكتشفت فى البكتريا، فى حين قرر أوتسر هاوات بأنها كحوليات عضوية في حين يرى البعض الآخر أنها أحماض عضوية أو البروتوبلازم نفسه قد يعمل حاملاً للأيونات، إلا أنه وجد أن الخاصية الاختيارية في كثير من الأحيان تكون غير كاملة وخاصة مع الأيونات المتماثلة فى الشحنة والتكافؤ. وكما سبق ذكر أن خاصية عدم نفاذية بعض الأغشية للمواد المحبة للماء (الأيونات) إلى احتواء هذه الأغشية على جزئيات الليبدات. ومن هنا يكون من المحتمل أن تكون المواد الحاملة هى جزئيات من الليبدات، وفي كل الأحوال يجب أن تكون على المواد الحاملة مواقع لها درجة كبيرة من التخصص لربط الأيونات المختلفة مما يساعد على الامتصاص الاختيارى للأيونات.

ويمكن القول بوجه عام إن هناك اتفاق بين معظم الباحثين في هذا المجال على أن المواد الحاملة غير ثابتة التركيب حيث يتغير تركيبها الكيميائى أثناء حملها للأيونات المختلفة، نتيجة تكوين مواد وسطية ناتجة من عمليات التحولات الغذائية، وقد تعمل كمعقدات مخلبية Chelating complexes.

ويمكن تفسير طريقة النقل (الامتصاص) النشط للأيونات خلال الأغشية كما يوضحها شكل (٣–٦) بما يلى:

١ – يتم تخليق مواد بالغشاء تعرف بالمواد الحاملة Carriers.

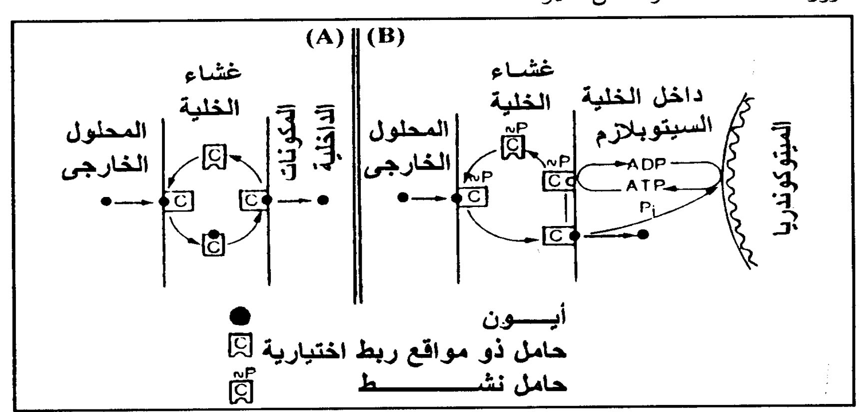
٢ – ترتبط المواد الحاملة مع الأيون عند السطح الخارجي للغشاء وتكون معقد بين الأيون والحامل.

٣ – انتقال معقد الأيون والحامل داخل الغشاء الخلوى.

٤ – عند السطح الداخلي للغشاء ينفرد الأيون عن الحامل ويتجه إلى داخل العصير الخلوى حيث يتم تراكمه.

٥ – تتحرك المادة الحاملة مرة أخرى تجاه السطح الخارجي لحمل أيون جديد وهكذا.

وتحتاج المواد الحاملة إلى طاقة لكى تقوم بعملها ويكون مصدر الطاقة هو مركب (Adenosine triphosphate ATP) الذى يقوم بتزويد الحامل بعنصر الفوسفور فيحوله إلى حامل نشط Active carrier (نتيجة تفاعل إنزيم فوسفات كينيز الموجود على السطح الداخلي للغشاء مع ATP حيث يتحول إلى ADP + فوسفات غير عضوية)، وبالتالى يتمكن هذا الحامل من الحركة خلال الغشاء والارتباط مع الأيون. وعند الجدار الداخلي للغشاء يصبح الحامل غير نشط بفقده للفوسفور، وفى هذه الحالة لا يستطيع المرور خلال الغشاء أو حمل الأيون.



شكل (٣–٦): انتقال الأيونات خلال الجدار الخلوي للخلية بواسطة الحامل

- **فى نموذج A يلاحظ توسط المواد الحاملة للأيونات للجدار.**
- **وفى نموذج B يلاحظ مدي مساهمة مركبات الطاقة فى عملية انتقال الأيون**

وعلى ذلك نجد أن الأيون غير حر في تحركه خلال الغشاء بمفرده، ولكنه يتحرك بعد أن يصبح جزءاً من مكونات مواد معينة (الحامل)، ثم يصبح أيون حر مرة أخرى عند انفصاله عن الحامل عند السطح الداخلي للغشاء. ولا يمكن للأيون الرجوع مرة أخرى إلى حيث كان، نظراً لقلة نفاذية الغشاء، وكذلك لأن الحامل فقد نشاطه وأصبح خاملاً وفقد الارتباط بالأيون.

ومن الجدير بالذكر بأن على كل مادة حاملة مواقع ربط **Binding sites** متخصصة لكل نوع من الأيونات، مما يساعد علي الامتصاص الاختياري **Selective transport** للأيونات.

٢- نظرية لونداجارد Lundegardh Theory

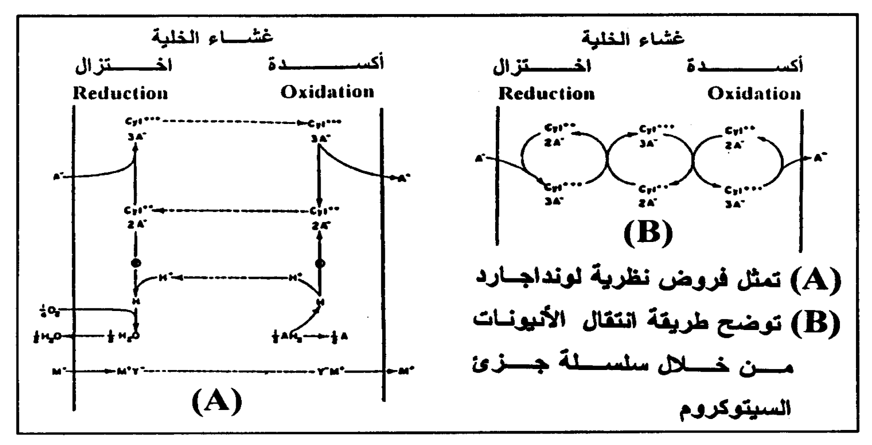
وتعرف أيضاً بنظرية التنفس الأنيوني **Anion respiration** أو نظرية مضخة السيتوكروم **Cytochrome pump** وتفترض هذه النظرية أن عملية الامتصاص تخضع للأسس الآتية:

١- هناك انفصال تام بين كل من عمليتي امتصاص الأنيونات والكاتيونات.

٢- امتصاص الكاتيونات عملية طبيعية بحتة وتتم على خطوتين: الأولي فيها يتحرك الكاتيون من خارج الخلية إلى داخل السيتوبلازم، وهنا تعتبر علي أنها عملية تبادل أيوني بين الكاتيون والأيدروجين المتأين من بعض المركبات العضوية في البروتوبلازم. والثانية يتم فيها انتقال الكاتيون من سيتوبلازم الخلية إلى داخل الفجوة العصارية ويطلق على هذه الخطوة عملية التجمع أو التراكم **Accumulation**، كذلك عملية امتصاص الكاتيون عملية عكسية بمعنى أن الكاتيون يمكن أن يتحرك بحرية خلال السيتوبلازم في اتجاه الداخل أو الخارج نحو جدار الخلية.

٣- امتصاص الأنيونات عملية كيميائية بحتة تتم عن طريق جزئيات حاملة من السيتوكروم، كما أنها عملية غير عكسية، وتتم عملية امتصاص الأنيونات ضد تدرج التركيز وكذلك ضد تشابه الشحنة.

٤- يكون التنفس الأنيونى مسئولاً عن كمية الطاقة اللازمة لعملية امتصاص الأنيونات ضد تدرج التركيز وضد تشابه الشحنة. وقد تمكن لونداجارد من تثبيط هذا النوع من التنفس بإضافة أول أكسيد الكربون أو السيانيد، حيث تعمل هذه المواد على إيقاف عمل إنزيم Cytochrome oxidase، وكان ذلك أحد الأدلة التى اعتمد عليها فى إثبات أن نظام السيتوكروم هو المسئول عن عملية امتصاص الأنيونات وقيامها بعمل المادة الحاملة لها.



(A) تمثل فروض نظرية لونداجارد
(B) توضح طريقة انتقال الأنيونات من خلال سلسلة جزئ السيتوكروم

شكل (٣-٧): رسم يوضح كيفية انتقال الأنيونات بواسطة السيتوكروم (نظرية لونداجارد)

وتعتمد ميكانيكية امتصاص الأنيونات بواسطة مضخة السيتوكروم علي عملية التنفس التى تعتبر مصدر الإمداد بالإلكترونات الناتجة من تحول الأيدروجين عند السطح الداخلى إلى بروتونات الأيدروجين H^+، والإلكترونات e^- ومصدر الأيدروجين هنا هو الأحماض العضوية بفعل إنزيمات الديهيدروجينيز. ينتقل الإلكترون المتكون إلى وحدة السيتوكروم ويختزل الحديديك Fe^{3+}، إلى حديدوز Fe^{2+} ، ثم ينتقل من وحدة إلى أخرى فى تتابع مستمر حتى يصل إلى غشاء السيتوبلازم الخارجى البلازمالما Plasmalemma وعندها يفقد حديد السيتوكروم

الإلكترون المكتسب ويتحول إلى حديديك الذى يكون مستعد لاستقبال إلكترون آخر من الداخل ، أو أنيون من الخارج ويأخذ الصورة حديد – أنيون ($Fe\text{-}A^-$)، وينتقل هذا الأنيون إلى داخل الخلية في تتابع مماثل حتى الوصول إلى الفجوة العصارية وعندها يتم تبادل الأنيون مع إلكترون جديد (شكل ٣–٧) . ويلاحظ أن الإلكترونات التى فقدت من حبيبة السيتوكروم الأخيرة والمتبادلة مع الأنيونات تتجه إلي الأكسجين الداخل للخلية للتنفس وتحوله إلى أنيونات O^{2-} أكسيجين. وأخيراً يتحد مع الأيدروجين الناتج من دورة كربس ويتكون جزىء الماء كما يتضح من المعادلة :

$$2H^+ + 2\,e^- + 1/2\;O_2 \Rightarrow H_2O$$

وهنا نجد أن جزىء الأكسجين يحتاج إلى ٤ إلكترونات :

$$4H^+ + 4e^- \Rightarrow H_2O$$

ونتيجة لامتصاص الأنيونات السالبة بهذه الكيفية وتراكمها داخل الخلية يترتب عليها أن يتكون فرق جهد سالب على الجانب الداخلي للخلية يعمل على جذب الكاتيونات الموجبة الشحنة ضد تدرج التركيز. وتعتبر هذه النظرية من أوائل النظريات التى أعطت أهمية لدور الطاقة فى عملية الامتصاص.

الاعتراضات على نظرية لونداجارد :

يوجد عدة اعتراضات لهذه النظرية ذكرها صادق وآخرون سنة ١٩٩٧ عن الباحث Sutcliffe سنة ١٩٦٢ وتتمثل فى :

١– فى حالة وجود حامل واحد للأنيونات فيكون من المتوقع وجود تنافس بين الأنيونات على هذا الحامل، وهذا لم يثبت إلا بين Cl^-, Br^- دون NO_3^- ، $H_2PO_4^-$ كذلك لم يحدث تنافس بين الهاليدات (Br^- , Cl^- , F^-) والكبريتات SO_4^{2-} مما يؤكد وجود أكثر من حامل.

٢– فى بعض الحالات يكون امتصاص الملح مرتبط مع الأسكوربيك أوكسيديز بدلاً من السيتوكروم أوكسيديز، حيث ثبت أن السيتوكروم أوكسيديز غير موجود أصلاً فى الغشاء.

٣- وجد أن بعض الكاتيونات مثل Na^+ و K^+ لها القدرة على أن تحفز التنفس، وبالتالى فإن ظاهرة التنفس الملحي ليست مقصورة على الأنيونات فقط، ولكن قد تكون مرتبطة بالكاتيونات أيضاً.

٤- وجد أن مركب DNP وهو مثبط للأكسدة الفوسفورية قد شجع التنفس إلى أقصاه، ولكن قلل امتصاص KCl، وهنا يجب أن تتوقف عملية الامتصاص فى حالة صحة افتراض لوندا جارد.

٥- وجد أن تحت الظروف المناسبة أكثر من أربعة إلكترونات يمكن أن تنتقل إلى خارج الخلية لكل جزىء O_2 يُستهلك، وهذا عكس افتراض لونداجارد والذى يحدد أن أقصى عدد للأنيونات يمكن انتقاله مع استهلاك جزىء O_2 هو أربعة فقط. وبالتالى فإن مبدأ انتقال الأيون معتمداً على الارتباط المباشر مع الالكترون ومضخة الاختزال يعتبر غير صحيح.

٦- عجزت هذه النظرية فى تفسير الاختيارية لامتصاص الأيونات، ووضح ذلك مع كثير من النباتات.

ومن هنا نجد أن أهم ما أضافته نظرية لوندا جارد هو لفت الانتباه إلي دور الطاقة فى عملية الامتصاص الحيوي.

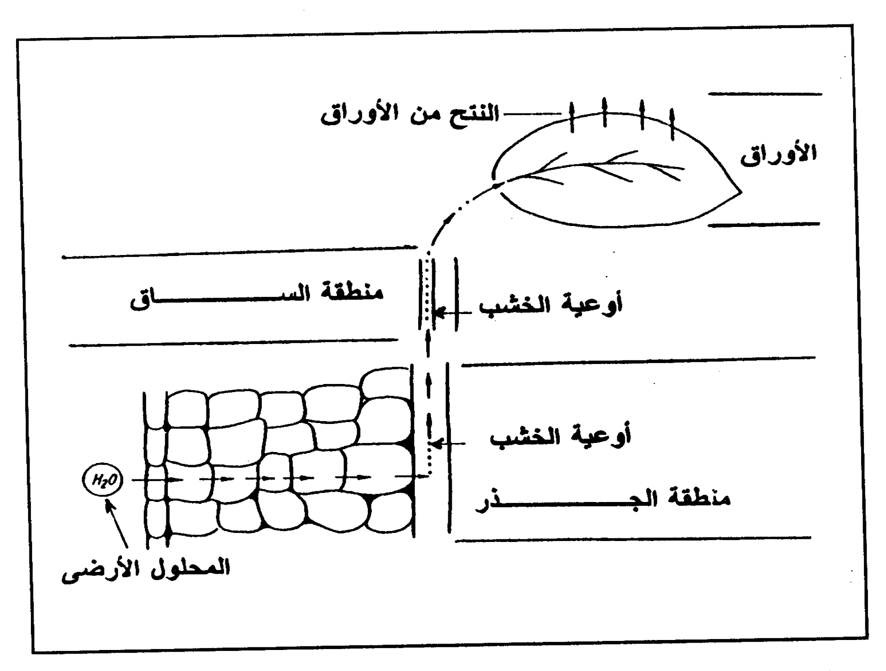
ثالثا: صعود الأيونات من الجذر إلى الأجزاء الهوائية

بعد امتصاص الأيونات بواسطة خلايا البشرة فى الجذر تنتقل هذه الأيونات خلال خلايا نسيج الجذر فى اتجاه الداخل حتى تصل إلى الأوعية الناقلة (شكل ٣-٨)، وتتحرك هذه الأيونات إلى داخل الجذر بوسيلتين:

الأولى: تحرك الأيون من سيتوبلازم إلى سيتوبلازم الخلية المجاورة جهة الداخل عن طريق الخيوط البلازمودزمية التى ترتبط سيتوبلازم الخلايا مع بعضها البعض حتى يصل إلى الأوعية الخشبية.

الثانية: هى تحرك الأيون في الفراغ الحر Free space فى جدرخلايا القشرة وفى هذه الحالة تتوقف حركة الأيون عند طبقة الإندودرمس لوجود الشرائط الكسيبرية التى تقلل

من نفاذ الجدار الخلوى، وتمنع انتقال الأيونات خلاله مما يُحتم وسيلة حيوية تحمل هذا الأيون وتمر به خلال الإندودرمس لكى يستمر فى طريقه إلى أوعية الخشب . وبمجرد وصول الأيونات إلى الأوعية الخشبية فإنها ترحل بسرعة إلى الأجزاء الهوائية مع تيار الماء الصاعد إلى أعلى حيث تدخل هذه الأيونات فى عمليات التمثيل الغذائى فى الأوراق .



شكل (٣-٨) : رسم تخطيطي يوضح كيفية انتقال المحلول الأرضي من الجذر إلي الأوراق

الفصل الرابع

العناصر الغذائية الضرورية للنبات

Essential Nutrient Elements

النيتروجين Nitrogen



العناصر الغذائية الضرورية للنبات

Essential Nutrient Elements

مكونات النبات Plant Constituents

يحتوى التركيب الكيميائى للنبات الاخضر على ٨٠–٩٥٪ من وزنه ماء، والنسبة المضبوطة أو الصحيحة للماء فى النبات تتوقف على العديد من العوامل منها نوع النبات، درجة انتفاخه، وقت أخذ العينة النباتية (تتأثر بزمن أخذها خلال اليوم)، كمية الرطوبة بالأرض، درجة الحرارة ودرجة نشاط الرياح بجانب عوامل أخرى. وعلى هذا يكون من المتوقع اختلاف الوزن الطازج لنبات معين نتيجة لتلك العوامل السابق ذكرها، وبالتالى يكون من الخطأ أن تنسب نتائج التحليل الكيميائى للنبات إلى الوزن الطازج بل ينسب إلى المادة الجافة Dry matter والتى يتم تقديرها بوضع العينة النباتية الطازجة فى فرن على درجة حرارة ٧٠°م لمدة من ٢٤–٤٨ ساعة.

وفى العادة تمثل المادة الجافة حوالى ٥–٢٠٪ من الوزن الطازج، وتتكون المادة الجافة من شقين رئيسيين هما: الشق العضوى، ويمثل حوالى ٩٠–٩٥٪ من المادة الجافة ويتكون أساساً من الكربون والاكسجين والهيدروجين، والذى يستمدها النبات من الماء والهواء بالإضافة إلى جزء من الفوسفور والكبريت والنيتروجين والتى يكون مصدرها المحلول الأرضى. والشق الآخر هو الشق المعدنى (الرماد Ash) والذى يمثل حوالى ٥–١٠٪ من المادة الجافة ويمكن الحصول عليه بحرق المادة النباتية الجافة على درجة حرارة من ٥٠٠–٦٠٠°م أو هضم المادة النباتية الجافة بواسطة مخلوط من الاحماض فيتأكسد الكربون العضوى إلى CO_2. وفى النهاية نحصل على الرماد والذى تصبح مركباته على صورة أكاسيد أو كربونات أو أملاح حسب عملية الحرق أو الهضم. ويصل عدد العناصر الموجودة فى الرماد إلى أكثر من ٩٠ عنصراً. وهذا لا يعنى أن جميع هذه العناصر مغذيات نباتية، بل يتحدد بمدى احتياج النبات إليه ومدى مساهمة هذا العنصر فى بناء أنسجة النبات والتى تم معرفتها باستخدام المزارع اللا أرضية سواء كانت مزارع محاليل مغذية أو مزارع رملية. وفى عام ١٩٣٩ قام العالمان Arnon , Stout

بتحديد ثلاثة شروط واجب توافرها فى العنصر المغذى الضرورى وهى :

١– غياب هذا العنصر من وسط نمو النبات يؤدى إلى عدم قدرة هذا النبات على إتمام دورة حياته .

٢– عند ظهور أعراض نقص عنصر معين على النبات لا تزول هذه الأعراض إلا بإضافته لهذا النبات ولا يمكن أن يحل محله عنصر آخر فى القيام بوظيفته الحيوية فى النبات .

٣– يدخل هذا العنصر مباشرة فى عمليات الميتابوليزم وعمل الإنزيمات داخل النبات، وبالتالى يكون جزءاً محسوساً من مكونات النبات .

وعلى ذلك يعرف العنصر الغذائى أو العنصر الضرورى للنبات على أنه العنصر الذى يؤدى وظيفة ما فى حياة النبات، بحيث إذا غاب أو نقص هذا العنصر ساء النمو أو توقف، وبالتالى يقل المحصول أو ينعدم . ومن نتائج الدراسات حول أهمية العناصر المعدنية فى تغذية النبات يمكن القول بأن غالبية هذه العناصر ليست مغذيات ضرورية للنبات . وعلى ذلك يتضح أن النبات يقوم بامتصاص أى عناصر (أيونات) معدنية موجودة فى المنطقة المحيطة بالجذور (منطقة الريز وسفير)، ووجد أن للنبات قدرة اختيارية فى معدل امتصاص الأيونات المختلفة، أى أن معدل الامتصاص لأيون معين لا يكون متناسباً دائماً مع الكمية الميسرة من هذا الأيون فى الأرض .

ولقد تم تقسيم العناصر الضرورية للنبات على أساس الكمية التى يحتاجها من تلك العناصر إلى مجموعتين أساسيتين : مجموعة العناصر الضرورية الكبرى، والمجموعة الثانية هى مجموعة العناصر الضرورية الصغرى . ويوضح جدول (٤–١) هذه العناصر والصور التى تمتص عليها بواسطة النبات، وأهم المصادر الطبيعية لتلك العناصر بالأرض .

ويمكن تقسيم العناصر المغذية من حيث احتياج النبات إليها ومدى مساهمتها فى تركيبها إلى المجموعات الآتية (زين العابدين سنة ١٩٦٣) :

١– عناصر تدخل فى تركيب المواد العضوية ذات التركيب المحدود، مثل الكربوهيدرات والبروتينات والكلوروفيل وغيرها، وهى عناصر فى غيابها لا يمكن أن تتكون الخلايا أو الأنسجة النباتية، ومن هذه العناصر الكربون والاكسجين والأيدروجين والنيتروجين والفوسفور والكبريت والماغنسيوم .

٢- عناصر لا تدخل فى تركيب المواد العضوية ولكنها لازمة لإتمام العمليات الحيوية ويحتاج إليها النبات بكميات كبيرة نسبيًا ويتوقف المحصول الناتج من النبات على مدى توفرها فى الأرض، ويتناسب طرديًا مع مقدارها إلى حد معين، مثل عنصر البوتاسيوم.

٣- عناصر تعمل كعوامل مساعدة للتفاعلات الكيميائية التى تحدث فى خلايا النبات مثل: تفاعلات التمثيل والهدم، وتضم هذه المجموعة عناصر الحديد والمنجنيز والموليبدنيم.

جدول (٤-١): العناصر الغذائية الضرورية للامتصاص والصور الميسرة منها وأهم مصادرها والكمية الموجودة منها في الأرض

العنصر	الصورة الأيونية الصالحة للنبات	أهم المصادر	متوسط الكمية فى الأرض
العناصر الضرورية الكبرى			
النيتروجين (N)	NO_3^-, NH_4^+	النيتروجين الجوى - المادة العضوية	٠,٠٣- ٠,٣٪
الفوسفور (P)	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}	فوسفات الكالسيوم (مجموعة الأباتيت) وفوسفات الحديد والألومنيوم	٠,٠١٪ ٠,١٪
البوتاسيوم (K)	K^+	الميكا، الإيلليت والفلسبارات	٠,٢-٣,٠٪
الكبريت (S)	SO_4^{2-}	كبريتور الحديد، وكبريتات الحديد	٠,٠١- ٠,١٪
الكالسيوم (Ca)	Ca^{2+}	كالسيوم الفلسبارات، الأوجيت، الهورنبلند وكربونات وكبريتات الكالسيوم	٠,٢-١,٥٪ تزداد فى الأراضى الجيرية
الماغنسيوم (Mg)	Mg^{2+}	الأوجيت، الهورنبلند، الأوليفين، البيوتيت وكربونات الماغنسيوم	٠,١-١,٠٪ تزداد مع وجود معدن الدولوميت

تابع جدول (٤-١): العناصر الغذائية الضرورية للامتصاص والصور الميسرة منها وأهم مصادرها والكمية الموجودة منها في الأرض

العنصر	الصورة الأيونية الصالحة للنبات	أهم المصادر	متوسط الكمية فى الأرض
العناصر الضرورية الصغرى			
الحديد (Fe)	Fe^{2+}, Fe^{3+}	الأوجيت، الهورنبلند، البيوتيت، الأوليفين، أكاسيد وأيدروكسيد الحديد	٠,٥-٤,٠٪ تزداد فى بعض الآفاق الغنية به
الزنك (Zn)	Zn^{2+}	فوسفات، كربونات وأيدروكسيدات الزنك وبعض المعادن السليكاتية	١٠-٣٠٠ جزء فى المليون
المنجيز (Mn)	Mn^{2+} (Mn^{3+})	المنجانيت، البيرولوسيت، وبعض المعادن السليكاتية	٢٠٠-٤٠٠٠ جزء فى المليون
البورون (B)	$H_2BO_3^-$, HBO_3, $B(OH)^-_4$	التورمالين، وبعض المعادن السليكاتية والأملاح	٥-١٠٠ جزء في المليون
الموليبدنم (Mo)	Mo^{2+}	بعض المعادن السليكاتية، وأكاسيد وأيدروكسيدات الحديد والالومنيوم	٠,٥-٥,٠ جزء فى المليون
النحاس (Cu)	Cu^{2+}, (Cu^+)	كبريتور النحاس، كبريتات وكربونات النحاس وبعض المعادن السليكاتية	٥-١٠٠ جزء فى المليون
الكلورن Cl	Cl^-	مختلف الكوريدات	٥٠-< ١٠٠٠ جزء فى المليون

٤- عناصر تعمل متعاونة أو مكملة لوظائف عناصر أخرى كما يتعاون الصوديوم مع البوتاسيوم، والكالسيوم مع الماغنسيوم.

٥- عناصر ليس لها أهمية عامة لجميع النباتات، ولكنها قد تكون ضرورية لبعض أنواع النباتات، مثل الكلور والصوديوم بالنسبة لبنجر السكر.

٦- عناصر لها علاقة بصحة النبات وتؤثر فى نموه ومحصوله، كما تؤثر عليه من ناحية

مقاومته لبعض الأمراض مثل: البورون والنحاس والزنك.

٧- عناصر توجد فى النبات بصفة عامة ولا يعرف لها تأثير معين وهى السيليكون والألومنيوم.

ويمكن توضيح مدى الفرق بين العناصر المغذية من حيث كونها كبرى أو صغرى من البيانات المبوبة فى جدول (٤-٢) والتى توضح الكمية المستنزفة أو الممتصة بواسطة الوحدة المحصولية لبعض المحاصيل المختلفة (الكمية المستنزفة من أى عنصر هى الكمية التى يمتصها النبات من التربة خلال موسم النمو). ويتضح أن الكميات الممتصة من العناصر الصغرى سنويًا بواسطة المحاصيل المختلفة صغيرة جداً بالمقارنة بكميات العناصر الكبرى، حيث لا تتجاوز عدة مئات من الجرامات للهكتار (Amberger سنة ١٩٩٣ a).

جدول (٤ - ٢): كمية العناصر الضرورية المستنزفة لكل طن محصول اقتصادي

المحصول ⇐ / العنصر ⇓	الأرز	الذرة	القمح	ذرة رفيعة	الحمص	بسلة هندى	قول سوداني
العناصر الصغرى (جم/ طن محصول اقتصادى)							
النيتروجين (N)	٢٠	٢٦	٢٥	٢٢	٤٦	٦٤	٥٨
فوسفور P_2O_5	١١	١٤	٩,٠	١٣	٨,٠	١٨	٢٠
بوتاسيوم K_2O	٣٠	٣٦	٣٣	٣٤	٥٠	٤٢	٣٠
الكالسيوم Ca	٧,٠	٥,٤	٥,٣	٦,٤	–	–	٢٨
ماغنسيوم Mg	٣,٠	٧,٨	٤,٧	٤,٨	–	٤,٠	٧,٣
كبريت S	٣,٠	٣,٨	٤,٧	٢,٨	–	٣,٣	٥,٧
العناصر الصغرى (جم/ طن محصول اقتصادى)							
الزنك Zn	٤٠	١٣٠	٥٦	٧٢	٣٨	٢٤	٢٨
الحديد Fe	١٥٣	١٢٠٠	٦٢٤	٧٢٠	٥٨	٤٠	١٥٠٠
المنجنيز Mn	٦٧٥	٣٢٠	٧٠	٥٤	٣٠	١٤	١١٨
النحاس Cu	١٨	١٣٠	٢٤	٦,٠	١٤	١٤	١٥
البورون B	١٥	–	٤٨	٥٤	–	–	١٣٣
الموليبنيم Mo	٢,٠	–	٢,٠	٢,٠	–	–	٤,٠

وفى هذه المقدمة عن العناصر الضرورية للنبات سوف نتعرض للمظاهر العامة لنقص العناصر المغذية على النباتات مع تأجيل توضيح أعراض نقص كل عنصر على حدة كما أشار إليه الفولى وعبد الحميد سنة ١٩٩٢ وذلك عند دراسة هذه العناصر بشىء من التفصيل.

حالات نقص العناصر المغذية:

بجانب حالة النقص الظاهرية للعناصر بمشاهدة أعراض واضحة للعين على النبات يوجد العديد من حالات النقص مثل: نقص مستتر بدون ظهور أعراض مرئية على النبات- نقص عنصر واحد- نقص فى أكثر من عنصر- نقص حقيقى نتيجة قلة كمية العنصر فى التربة، وأخيرا نقص غير حقيقى نتيجة عدم صلاحية العنصر للامتصاص من التربة أو عدم فاعليته فى النبات، أو نتيجة التداخل بين العناصر أو نتيجة عوامل بيئية. ومن الواضح أن التعرف على الحالة المسببة للنقص تكون مهمة جدا وذلك لاقتراح طريقة العلاج.

وتبدأ أعراض نقص العنصر على النبات عندما يصل نقص الكمية الميسرة من العنصر فى التربة إلى الدرجة التى تؤثر على نمو النبات، وبالتالى كمية المحصول الناتج. وتسمى حالة ظهور نقص العنصر بحالة النقص الظاهرى، وهذه تختلف عن حالة النقص المستتر والتى لايمكن اكتشافها إلا عن طريق تقدير العناصر فى النسيج النباتى. ويختلف موضع ظهور الأعراض فى البداية لنقص العنصر على الأجزاء المختلفة للنبات باختلاف قدرة هذا العنصر على الحركة أو الانتقال داخل النبات من الأجزاء المسنة إلى النموات الحديثة وهى الأوراق غالباً. فمثلا نجد أن العناصر الكبرى مثل النيتروجين، الفوسفور، البوتاسيوم والماغنسيوم تظهر أعراض نقصها على الأوراق المسنة للنبات أولا. فى حين تظهر أعراض الكبريت والكالسيوم والعناصر الصغرى أولا على الأوراق الحديثة أو الأجزاء العلوية. ويرجع ذلك لصعوبة تحرر هذه العناصر من مركباتها فى الأجزاء المسنة البالغة والموجودة فى أسفل النبات ثم انتقالها إلى الأجزاء الحديثة. وهنا يجب الإشارة إلى أن طبيعة نمو النبات وحجمه يؤثران على شكل وأولوية ظهور الأعراض، حيث نجد أن الأشجار الكبيرة تختلف عن النباتات العشبية، كما تختلف النباتات ذات الفلقة الواحدة عن

ذات الفلقتين، وأيضاً نجد أن نمو النباتات يتأثر بدرجات مختلفة باختلاف نوع العنصر الناقص.

مصادر العناصر الغذائية للنبات Plant Nutrient Sources

يمكن تحديد مصادر العناصر المغذية للنبات فى مصدرين أساسين وهما: العناصر الموجود أصلا Native sources فى التربة ومنها المعادن الأرضية ونواتج تحلل المخلفات النباتية والمادة العضوية بالتربة (جدول ٤-١). بينما المصدر الثانى فهو العناصر المضافة Added sources والتى تتمثل فى إضافة الأسمدة الكيميائية والأسمدة العضوية للتربة.

ويجب معرفة أن كل العناصر الغذائية والموجودة فى التربة تخضع إلى العديد من العمليات والتى قد تحد أو تزيد من ذوبانها، وبالتالى تؤثر على الصورة والكمية الصالحة منها للنبات. وهذه العمليات تختلف من عنصر إلى آخر وقد تكون عمليات حيوية أو كيميائية تتم فى الطبيعة، ومن العمليات الحيوية التى تحد من ذوبان العناصر المغذية هو امتصاص تلك العناصر بواسطة الكائنات الأرضية الدقيقة Microflora وتمثيلها داخل أجسامها، وهذه العملية تعرف باسم عملية التمثيل Immobilization ويقصد بها تحول العنصر من الصورة المعدنية إلى الصورة العضوية. ولكن بعد موت هذه الكائنات يحدث لها تحلل وتنطلق هذه العناصر مرة أخرى وتصبح فى صورة صالحة وهذه العملية تعرف باسم عملية المعدنة Mineralization وهى عكس العملية السابقة أى يحدث بها تحول العنصر من الصورة العضوية وغير الصالحة للنبات إلى الصورة المعدنية الميسرة للامتصاص. والعملية الحيوية هذه تعتبر ذات أهمية كبيرة بالنسبة للنيتروجين ولكنها فى نفس الوقت تعتبر ذات أهمية متوسطة بالنسبة للكبريت والفوسفور. ومن العمليات الكيميائية الهامة هى عملية الترسيب للعناصر وجعلها فى صورة غير صالحة للنبات، ويعتبر عنصر الفوسفور أكثر العناصر تأثراً بهذه العملية، وأيضاً حدوث تقييد لبعض العناصر وخاصة الكاتيونات منها وذلك نتيجة ادمصاصها على أسطح أو بين الوحدات البلورية لمعقدات التبادل ويعتبر كل من أيونى البوتاسيوم والأمونيوم أكثر الكاتيونات تثبيتاً بهذه الطريقة.

ومن المهم ملاحظة أنه بالنسبة لكل العناصر المغذية تقريبًا أو الغالبية العظمى منها تكون الكمية الميسرة للنبات قليلة جدًا بالنسبة للكمية الكلية من نفس العنصر فى التربة النامى بها النبات.

العناصر الغذائية الكبرى Macronutrients

النيتروجين Nitrogen

يُعتبر عنصر النيتروجين من العناصر الغذائية الهامة فى تغذية النبات، ويحتاجه النبات بكميات كبيرة، حيث يمثل القدر الأكبر للمكونات العضوية الأساسية فى النبات والتى تشمل البروتينات والإنزيمات والأحماض النووية والكلوفيل.

النيتروجين فى الأرض Nitrogen in Soil

يختلف النيتروجين عن معظم العناصر المعدنية الموجودة بالتربة الزراعية فى أن مصدره الأصلى هو الهواء الجوى (إذ يشكل النيتروجين حوالى ٧٩٪ من حجم الهواء الجوى) فى حين لاتحتوى الصخور الأصلية ومعادن التربة على هذا العنصر. ولا تستطيع النباتات النامية الاستفادة من النهتروجين الغازى N_2 مباشرةً إلا بعد أن يدخل فى سلسلة من التفاعلات والتى تقوم بها كثير من الأحياء الدقيقة الموجودة بالتربة والتى تعيش إما حرة فى التربة أو تعيش فى داخل جذر النبات، حيث تثبت النيتروجين الغازى وتحوله إلى نيتروجين عضوى داخل أجسامها فى صورة أحماض أمينية وبروتينات، وعند موت هذه الكائنات فإن النيتروجين العضوى الموجود بها تحت ظروف معينة يتحلل وينتج نيتروجين معدنى فى صورة NH_4^+ ثم No_3^-.

وتختلف الأراضى الزراعية فى محتواها من النيتروجين وذلك لوجود ارتباط بين هذه الكمية وعدة عوامل أخرى بعضها يتعلق بالظروف البيئية والآخر يتعلق بطبيعة النبات المنزرع وصفات الأرض الطبيعية والكيميائية ويمكن إيجاز العوامل المحددة لمحتوى الأرض من النيتروجين (N) كما لخصها (Jenny) سنة ١٩٤١، فى الظروف المناخية (CL)، طبغرافية الأرض (T)، الغطاء النباتى (V)، مادة الأصل (P) والمقصود هنا دراسة تأثير مادة الأصل من خلال دراسة قوام التربة والتركيب المعدنى للتربة، حيث إن الأراضى ذات القوام الثقيل محتواها من النيتروجين الممثل بالمادة العضوية مرتفع بالمقارنة بالأرض الخفيفة، كذلك نوع معدن الطين له تأثيره على محتوى الأرض من النيتروجين لاختلاف

قدرة هذه المعادن على ادمصاص NH_4^+ والجزيئات العضوية وعامل الزمن (t). أى أن هذه العوامل وغيرها من العوامل تُعتبر دالة لمحتوى الأرض من النيتروجين كما توضحها المعادلة التالية:

$$N = f\,(CL, T, V, P, t...... etc)$$

وتُعتبر هذه العوامل غير مستقلة فى تأثيرها لكن تكون متداخلة، وعلى ذلك فإن محصلة هذا التداخل تحدد بدقة محتوى التربة الزراعية من النيتروجين. وبصفة عامة يمكن تقسيم صور النيتروجين بالأراضى الزراعية Nitrogen forms in soils إلى:

أ - الصورة العضوية Organic Form

وهى الصورة الثابتة القليلة الصلاحية بالنسبة للنبات وذلك لوجود النيتروجين بها على صورة مجموعة أمين NH_2 – والتى تدخل فى تكوين الأحماض الأمينية والبروتينات وكثير من المركبات العضوية مثل: الأحماض النووية والفيتامينات وغيرها من المعقدات العضوية ذات التركيب غير المتجانس. وتمثل هذه الصورة حوالى ٩٩٪ من النيتروجين الكلى بالأراضى الزراعية فى معظم فترات السنة.

ويمكن معرفة كمية النيتروجين بالأرض بمجرد تقدير المادة العضوية بالتربة الزراعية، حيث تُعتبر المخزن والرصيد الأساسى الذى يحتوى على معظم النيتروجين. وعموماً فإن المادة العضوية تحتوى على ٥٪ نيتروجين، فمثلاً لو كان محتوى الأرض من المادة العضوية ٣٪ تكون النسبة المئوية للنيتروجين بالأرض مساوية لحاصل ضرب الـ ٪ للمادة العضوية × النسبة المئوية للنيتروجين بالمادة العضوية (أى أن النسبة المئوية للنيتروجين بالأرض = ٣ × ٥ ÷ ١٠٠ = ٠,١٥٪) ومعنى ذلك أن أى عامل يؤدى إلى زيادة المادة العضوية بالتربة يُزيد من محتوى النيتروجين بالتربة الزراعية. ويمكن إيجاز العوامل المؤثرة على كمية المادة العضوية بالتربة وبالتالى النيتروجين فيما يلى:

١ - نوع وكثافة الغطاء النباتى (الفلورا): تزداد المادة العضوية بزيادة الغطاء النباتى وهذا يزيد من كمية النيتروجين بالتربة.

٢ - طبغرافية الأرض ومدى استوائها وانحدارها: فكلما كانت الأرض مستوية كلما زادت كمية الماء النافذة وبالتالى يزداد محتواها من الرطوبة مما يزيد من الغطاء

النباتي. بينما إذا كانت منحدرة فإن الانجراف السطحي بفعل المياه والرياح يؤدى إلي انخفاض محتوى التربة من النيتروجين، كذلك قد تتجمع المادة العضوية وتقل عملية المعدنة للنيتروجين العضوى تحت ظرف رداءة الصرف وتجمع الماء فى المناطق المنخفضة بسبب عدم توفر التهوية الملائمة لنشاط الأحياء الدقيقة المحللة للمادة العضوية، حيث إن تحسين ظروف الصرف تقلل من تراكم المادة العضوية على سطح التربة نتيجة لزيادة النشاط الميكروبى.

٣ – درجة الحرارة ومعدل سقوط الامطار (المناخ): مع ثبات كمية المطر تزداد نسبة النيتروجين (المادة العضوية) فى الأرض ذات المناخ البارد عنها فى الأراضى ذات المناخ الحار. وفى حالة ثبات درجة الحرارة تزداد نسبة النيتروجين فى الأراضى الرطبة عنها فى الأراضى الجافة.

٤ – قوام الأرض وعمق القطاع الأرضى: تقل كمية النيتروجين فى الأراضى الرملية خفيفة القوام عنها فى الأراضى الثقيلة (الطينية) ويرجع ذلك إلى سرعة تحلل المادة العضوية وفقد النيتروجين. وتزداد كمية النيتروجين فى طبقة الأرض التى تتراكم فيها المادة العضوية كطبقة سطح الأرض الثقيلة، ثم تقل كلما تعمقنا فى القطاع الأرضى. وقد يحدث أن يزداد النيتروجين كلما تعمقنا فى القطاع الأرضى فى الأراضى الرملية نتيجة تسرب المادة العضوية إلى الطبقة تحت السطحية للأرض، كذلك إذا حدث عملية نقل الرمال على الطبقة السطحية التى تزداد فيها النباتات وبقاياها (أى انجراف تربة من منطقة إلى منطقة أخرى).

دورة النيتروجين فى الأرض Soil Nitrogen

تُعتبر دورة النيتروجين فى الأرض من الدورات المعقدة كما يتضح ذلك من شكل (٤–١) حيث تشمل عدد من العمليات الأساسية يمكن إيجازها فيما يلى:

١ – تثبيت النيتروجين الجوى Nitrogen fxation

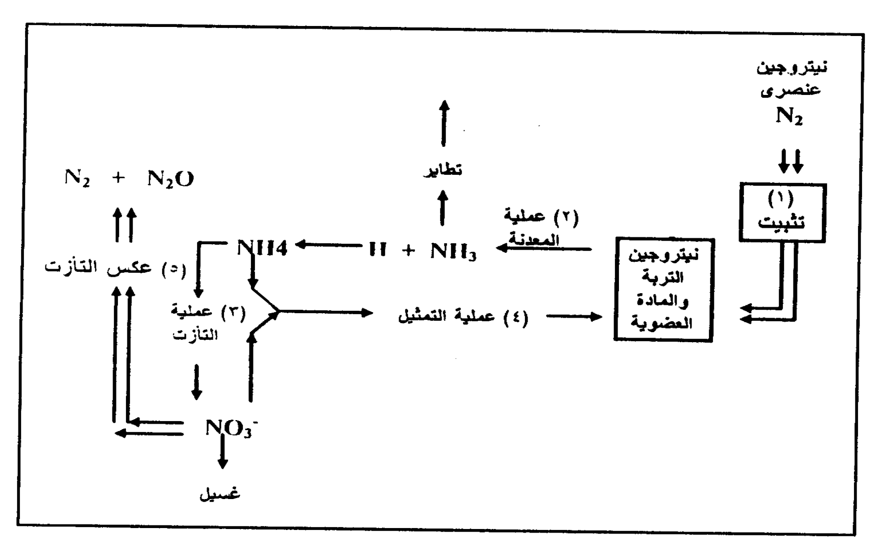
٢ – معدنة النيتروجين العضوى Nitrogen mineralization وتكوين الامونيا Ammonification.

٣ – الأكسدة البيولوجية للأمونيا فيما يُعرف بعملية التأزت Nitrification.

٤ – تمثيل النيتروجين المعدنى فى أجسام الكائنات الحية الدقيقة والنبات فيما يُعرف بعملية التمثيل Immobilization.

٥ – اختزال النترات إلى أمونيا أو نيتروجين جوى أثناء عملية عكس التأزت Denitrification.

ويمكن توضيح هذه الخطوات بشيء من التفصيل كما يلى:



شكل (٤–١): دورة النيتروجين في الطبيعة

أولاً: تثبيت النيتروجين الجوى Nitrogen Fixation

كما سبق الإشارة إلى أن النبات لا يستطيع الاستفادة مباشرةً من النيتروجين الجوى، ولذلك لابد من تثبيته سواء بيولوجياً أو غير بيولوجى. وأهم الطرق التى يُثبت بها النيتروجين الجوى هى:

١ – الطرق غير البيولوجية ومنها :

أ – الطرق الطبيعية وذلك نتيجة لحدوث الشرارة الكهربائية أثناء عملية البرق مما يؤدى إلى أكسدة غاز النيتروجين، وتصل هذه الاكاسيد إلى الأرض مع المطر. وكذلك تساعد الأشعة فوق البنفسجية على اتحاد النيتروجين مع الهيدروجين الموجودة فى الجو ويتكون غاز الأمونيا . وبصفة عامة فإن الكمية التى تصل إلى الأرض بهذه الطريقة قليلة جداً لا تتعدى عدة كيلو جرامات للفدان فى العام. وتتم عملية الأكسدة السابق ذكرها حسب المعادلة التالية :

$$N_2 + O_2 \Rightarrow 2NO$$

$$3NO + 3O_2 \Rightarrow 3NO_2 + H_2O \Rightarrow 2HNO_3 + NO$$

ب – الطرق الصناعية وذلك عن طريق تفاعل Haber - Bosch reaction حيث يتفاعل النيتروجين الجوى N_2، مع الهيدروجين H_2، وذلك تحت ضغط ودرجة حرارة مرتفعة وينتج غاز الأمونيا حسب المعادلة التالية :

$$N_2 + H_2 \Rightarrow 2NH_3$$

ويعتبر هذا التفاعل أساس إنتاج الأسمدة النيتروجينية . ويجب الإشارة هنا أن كمية النيتروجين الجوى المثبتة كيميائياً (طبيعياً وصناعياً) قليلة جداً بالمقارنة بالكمية المثبتة بيولوجيا (جدول ٤–٣) .

جدول (٤–٣) : كمية النيتروجين المضافة والمفقودة من الأرض عالميا محسوبة بالمليون طن/عام

المضاف إلى الأرض (بالمليون طن / عام)		المفقود من الأرض (بالمليون طن / عام)	
الإنتاج الصناعى	٤٦	عكس التأزت	٢٠٠ – ٣٠٠
التثبيت البيولوجى	١٠٠ – ٢٠٠	أمونيا	١٦٥
النترات والنتريت مترسبة	٦٠	متطايرة	
أمونيا مترسبة	١٤٠		

عن Mengel and Krikby سنة ١٩٨٧

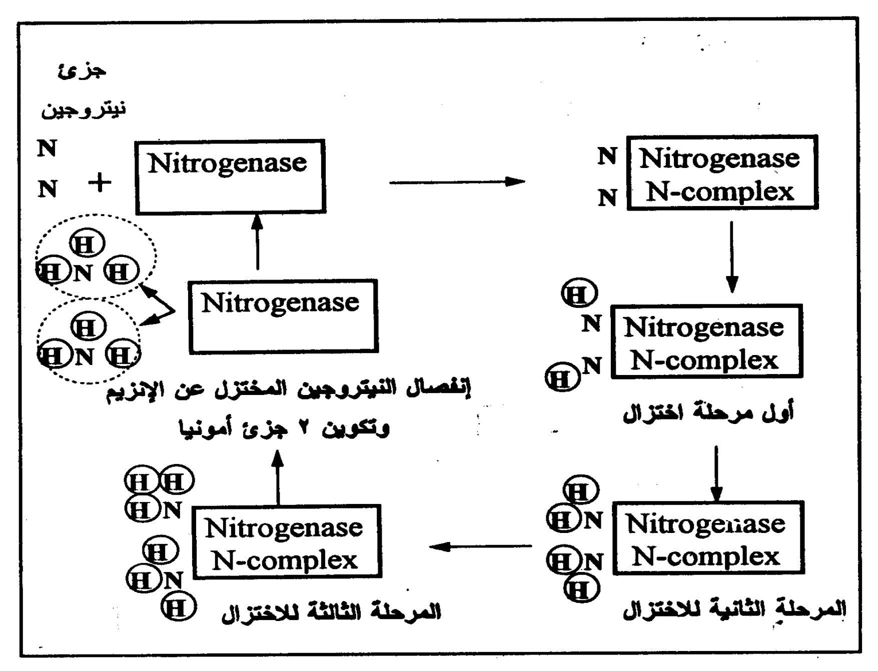
٢ - التثبيت الحيوى للنيتروجين Biological Nirtogen Fixation

من الحقائق أن تثبيت النيتروجين الجوى صناعيا يحتاج إلى درجة حرارة مرتفعة (٥٠٠ درجة مئوية) وتحت ضغط مرتفع وفى وجود عامل مساعد مثل أكسيد الحديد النشط، وهذا ما يتم فى تفاعل Haber - Buch reaction . فهنا سؤال يفرض نفسه علينا ألا وهو كيف يتم تثبيت النيتروجين بواسطة خلايا الكائنات الحية الدقيقة وتحت درجة حرارة منخفضة وضغط جوى عادى؟ . ولا نجد أمامنا سوى القول سبحان الله فهذه إحدى نعم الله ﴿وَإِن تَعُدُّوا نِعْمَةَ اللَّهِ لا تُحْصُوهَا إِنَّ اللَّهَ لَغَفُورٌ رَّحِيمٌ﴾

[النحل: ١٨] .

والمقصود بالتثبيت الحيوى هو تحويل النيتروجين الغازى والموجود فى الغلاف الجوى إلى نيتروجين عضوى يدخل فى تركيب المركبات النيتروجينية العضوية. وتتلخص هذه العملية بقيام أنواع مختلفة من الكائنات الدقيقة المتخصصة والتى لها القدرة على اختزال النيتروجين الجوى وتحويله إلى NH_3 تحت الظروف العادية من الضغط ودرجة الحرارة، وبالتالى يتحول إلى مركب عضوى. وعلى ذلك نجد أن الكائنات الدقيقة تقوم بدور هام فى تحديد طبيعة دورة النيتروجين فى الأرض، حيث تتحكم فى تحويل جزيئات النيتروجين الجوى إلى نيتروجين عضوى. وتعتبر هذه الطريقة أهم الطرق فى زيادة محتوى الأرض من النيتروجين كما يتضح من جدول (٤-٣) .

وكما سبق ذكره فإن عملية التثبيت الحيوى يتم فيها اختزال النيتروجين الجوى داخل أجسام الكائنات الدقيقة، ويتم الاختزال بواسطة إنزيم Nitrogenase وهذه العملية تحتاج إلى طاقة يكون مصدرها مركب Adenosein Triphosphate (ATP) وتحدث عملية الاختزال بأن يتحد هذا الإنزيم مع جزىء النيتروجين N_2 والذى يُختزل على عدة خطوات باكتسابه لأيونات الأيدروجين، ويكون حمض البيروفيك Pyrovic acid هو مصدر الأيدروجين اللازم لعملية الاختزال وكذلك تحتاج هذه العملية إلى مساعدات إنزيم - Co enzymes مثل: عنصر الموليبدنم أو الكوبلت. وشكل (٤-٢) يوضح خطوات عملية الاختزال.



شكل (٤-٢) : خطوات تثبيت النيتروجين بيولوجيا

ويمكن تقسيم طرق التثبيت الحيوى للنيتروجين إلى :

١ – التثبيت التكافلى للنيتروجين Symbiotic N_2 Fixation

حيث تقوم به بعض الكائنات الأرضية الدقيقة ومنها بكتريا متخصصة تكافلية Symbiosis فى معيشتها داخل العقد الجذرية للعديد من النباتات البقولية. كذلك الموجودة فى جذور كثير من النباتات العشبية أو جذور بعض الأشجار ومن هذه الكائنات الأرضية الدقيقة :

– بكتيريا من جنس Rhizobium sp. والتى تعيش تكافلياً مع جذور النباتات البقولية Legume، والتى يُطلق عليها بكتريا العقد الجذرية للمحاصيل البقولية. ولهذا النوع من النشاط التكافلى أهمية اقتصادية كبيرة لمساهمته الفعالة فى تثبيت النيتروجين

الجوى، ويتضح ذلك من جدول (٤-٤) والذى يشير إلى الكمية المثبتة بواسطة بعض النباتات البقولية كما أشار إليها White سنة ١٩٨٧ .

جدول (٤-٤): كمية النيتروجين الجوي المثبتة بواسطة النباتات البقولية مُقدرة بالكليو جرام/ هكتار (٢،٤ فدان)

Temperate species		Tropical & subtropical species	
Clovers		Grazed grass-Legume pastures:	
(Trifolium spp)	55-600	Stylosanthes humilis	10-30
Lucerne		Macroptium atropurpureum	44-129
(Medicago sativa)	55-40	Grain & forage legumes	
Soyabeans		Beans	
(Glycine max)	90-200	(Phaseolus vulgaris)	64
Beans (Vicia faba)	200	Pigeon pea	
Peas (Pisum spp)	50-100	(Cajanus Cajan)	
Median c.	200	Median c.	100

- بكتيريا خيطية من جنس .Frankia sp مثل Actenomycete والتى تعيش فى جذور نباتات غير بقولية مثل الكازورينا Casuarina والحور Alder .

- كذلك بعض الطحالب الخضراء المزرقة Blue-green algae تستطيع أن تُقيم علاقة تكافلية مع بعض الفطريات مثل Lichens, Fungi، حيث تقوم الطحالب الخضراء المزرقة بإمداد الفطر بحاجته من النيتروجين المثبت فى الجو.

ويُعتبر تثبيت النيتروجين تكافلياً بواسطة بكتيريا الريزوبيم عملية هامة جداً فى الزراعة من حيث إمدادها للنباتات البقولية بمعظم احتياجاتها من النيتروجين. وهناك العديد من بكتيريا الريزوبيم القادرة على تكوين عقد على جذور النباتات البقولية. بالإضافة إلى وجود نوع من التخصص بمعنى أن هناك أنواعاً معينة منها لمجموعة معينة من النباتات البقولية دون الأخرى ويوضح ذلك جدول (٤-٥) . وعلى هذا يتوقف مدى نجاح البكتيريا فى تثبيت النيتروجين على البكتيريا المناسبة للعائل البقولى المناسب لها. ومن الجدير بالذكر أن تثبيت البقوليات للنيتروجين يكون على أشده فقط عندما يكون مستوى النيتروجين الميسر بالأرض قليل جداً، وعلى ذلك يُنصح بإضافة كمية قليلة من

النيتروجين مع الأسمدة المضافة للمحاصيل البقولية عند الزراعة لضمان توفر كمية كافية من العنصر للبادرات الصغيرة حتى يتمكن الريزوبيم من المعيشة على جذورها. أما إذا أُضيفت كميات كبيرة وباستمرار من النيتروجين لهذه المحاصيل فإن ذلك يُقلل من نشاط الريزوبيم، وبالتالى يكون استخدام هذه الأسمدة النيتروجينية غير اقتصادى.

جدول (٤-٥): أنواع بكتيريا الريزوبيم والمحاصيل البقولية الملائمة لها

نوع البكتريا	العائل
R. meliloti	برسيم حجازى وحلبة **Melilotus, Medicago**
R. trifolii	برسيم حولى **Trfolium**
R. leguminosarum	بسلة - فول - عدس **Pisum, Vicia**
R. phaseoli	فاصوليا **Phasoeolus**
R. Japonicum	فول صويا **Glycine**
R. Lupinii	الترمس **Lupinus**

٢ - التثبيت غير التكافلى للنيتروجين Non symbiotic N-Fixation

وتقوم به كائنات حرة المعيشة فى الأرض الزراعية أى غير تكافلية Free-Living organisms سواء وجد النبات أو لم يوجد وإن كان بعضها ينشط أكثر فى وجود النبات وإن لم يكن يعتمد عليه، وبالتالى يكون هذا التثبيت غير تكافلى وفيه يتم تحويل النيتروجين الغازى بواسطة هذه الكائنات إلى نيتروجين عضوى داخل أجسامها، وبعد موت هذه الكائنات وتحلل أجسامها يتحول إلى نيتروجين ميسر للنبات نتيجة لعملية المعدنة، ومن هذه الكائنات:

١ - البكتيريا الهوائية من جنس .Azotobacter Sp وتنتشر هذه البكتيريا فى جميع أنواع الأراضى ما عدا الحامضية ذات pH أقل من ٦.

٢ - البكتيريا غير الهوائية من جنس .Clostridium sp وهى تختلف عن الأزوتوباكتر فى قدرتها على تثبيت النيتروجين فى الأراضى الحامضية ذات pH أقل من ٦.

٣ - الطحالب الخضراء المزرقة Blue-green algae من أجناس Nostoc Anabaena Gloecapsa، وتوجد تحت ظروف بيئية واسعة المدى، وتحتاج فى غذائها إلى الماء

والضوء والنيتروجين الحر N_2 وثانى أكسيد الكربون CO_2 وأملاح تحتوى على العناصر المعدنية الأساسية. وهذه الطحالب والأشنات تلعب دوراً هاماً فى إمداد مزارع الأرز بالنيتروجين.

ومن الجدير بالذكر أن الأهمية الزراعية لتثبيت النيتروجين بواسطة البكتيريا الحرة أقل من تلك التى تُثبت بواسطة البكتيريا التكافلية. وهناك تكهنات عديدة حول كمية النيتروجين المثبتة لا تكافلياً بواسطة البكتيريا نذكر منها ما ذكره أبو الروس وآخرون سنة ١٩٩٢ وهى ٣–٥ كجم/ فدان/ العام، بينما المثبتة بواسطة الطحالب الخضراء المزرقة تتراوح ما بين ٣٠–٦٠ كجم/ فدان/ العام. وتوجد عدة عوامل تؤثر على معدل تثبيت النيتروجين حيوياً أهمها:

١ – رقم الـ pH حيث تقل كفاءة التثبيت كلما انخفض رقم pH الأرض الزراعية ويرجع ذلك لان بكتيريا الريزوبيم حساسة للحموضة.

٢ – محتوى الأرض من النيتروجين حيث يقل معدل التثبيت كلما زاد محتوى الأرض من النيتروجين الميسر.

٣ – يزداد معدل التثبيت كلما توافر فى الأرض كمية ملائمة من عناصر P,Ca,K فى صورة ميسرة.

٤ – تعتبر عناصر المولیبدنم والكوبلت ضرورية لكل أنواع البكتيريا المثبتة للنيتروجين، حيث يزداد معدل التثبيت بزيادة محتوى الأرض من هذه العناصر.

٥ – تلعب الحالة الغذائية للنباتات البقولية دوراً هاماً فى مقدار كمية النيتروجين المثبتة، حيث يزداد معدل التثبيت كلما زاد معدل التمثيل الضوئى فى النبات والتى يتوقف عليها كمية الكربوهيدرات التى تُعطى للبكتريا من النبات.

مما سبق نجد أنه من خلال عملية التثبيت البيولوجى للنيتروجين يتحول هذا العنصر إلى صورة عضوية من خلال تحوله إلى أحماض أمينية وبروتينات، وبذلك يمكن اعتبار هذه الحالة نقطة البداية لتراكم النيتروجين **Accumulation of nitrogen** بالأرض الزراعية فى صورة مركبات عضوية.

ثانياً: معدنة النيتروجين العضوى Organic nitrogen mineralization

المحصلة النهائية لعملية التثبيت البيولوجية للنيتروجين بالأرض الزراعية هو تحول النيتروجين العنصرى إلى نيتروجين عضوى سواء كان فى أجسام الكائنات الحية الدقيقة أو النباتات أو مخلفات الحيوانات التى تتغذى على هذه النباتات. وبالتالى يكون النيتروجين العضوى (الذى يمثل ٩٩٪ من النيتروجين الكلى بالأرض) فى مكونات المادة العضوية والدُبال وهو فى هذه الصورة غير صالح للامتصاص بواسطة النباتات. وعلى ذلك تقوم أنواع عديدة من الكائنات الأرضية الدقيقة غير ذاتية التغذية Heterotrophic organisms (تحصل على الطاقة اللازمة لها من أكسدة الكربون العضوى) بتحليل المادة العضوية وينفرد النيتروجين منها فى صورة الأمونيا NH_3 وفي خطوة لاحقة تتحول الأمونيا إلى أمونيوم NH_4^+ ثم نترات NO_3^-، ويطلق على هذه العملية اسم عملية المعدنة، وتسمى أيضاً عملية النشدرة Ammonification على أساس أن الناتج النهائى لعملية المعدنة هو الأمونيا. والعملية العكسية لعملية المعدنة هى عملية التمثيل Immobilization ويُقصد بها تحول النيتروجين المعدنى الصالح للامتصاص بواسطة النبات والموجود بالأرض الزراعية إلى نيتروجين عضوى نتيجة استهلاكه بواسطة الكائنات الأرضية الدقيقة. وطبيعى أن يكون سيادة عملية المعدنة فى صالح النبات حيث ينتج عنها نيتروجين معدنى (الصورة الصالحة للامتصاص) والعكس صحيح بسيادة عملية التمثيل.

ويمكن توضيح كيفية حدوث عملية النشدرة Ammonification كما يلى:

تتحول المركبات النيتروجينية العضوية إلى أمونيا فى خطوتين:

الأولى: يحدث تحلل مائى Hydrolytic decomposition للبروتينات بفعل الإنزيمات وتنطلق مركبات أبسط فى صورة أحماض أمينية بواسطة الأحياء الدقيقة.

$$\text{Soil organic-N} \Rightarrow R\text{-}NH_2 + CO_2 + \text{Additional products} + \text{energy}$$

الثانية: تقوم الكائنات الدقيقة بتحويل الأحماض الأمينية $R\text{-}NH_2$ إلى الأمونيا وكحول طاقة

$$R\text{-}NH_2 + H_2O \Rightarrow NH_3 + R\text{-}OH + \text{energy}$$

وتذوب الأمونيا الناتجة فى الماء ويتكون أيون الأمونيوم

$$NH_3 + H_2O \Rightarrow NH_4OH \Rightarrow NH_4^+ + OH^-$$

ويكون مصير الأمونيوم الناتجة إحدى الاحتمالات الآتية :

١ – يمكن أن يتحول إلى نتريت، ثم نترات بواسطة كائنات دقيقة متخصصة وذلك خلال عملية التأزت Nitrification .

٢ – يمكن أن يُمتص مباشرةً بواسطة النبات .

٣ – يمكن أن يدخل فى تفاعلات التبادل الأيونى .

٤ – يمكن أن يُثبت على صورة غير ميسرة للنبات وذلك بإدمصاصه على أسطح الغرويات الأرضية، أو تثبيته بين الوحدات البلورية للمعادن الأرضية .

٥ – يمكن أن يحدث له فقد من الأرض بالتطاير Volatilization وخاصة إذا ارتفع رقم pH الأرض عن ٨ .

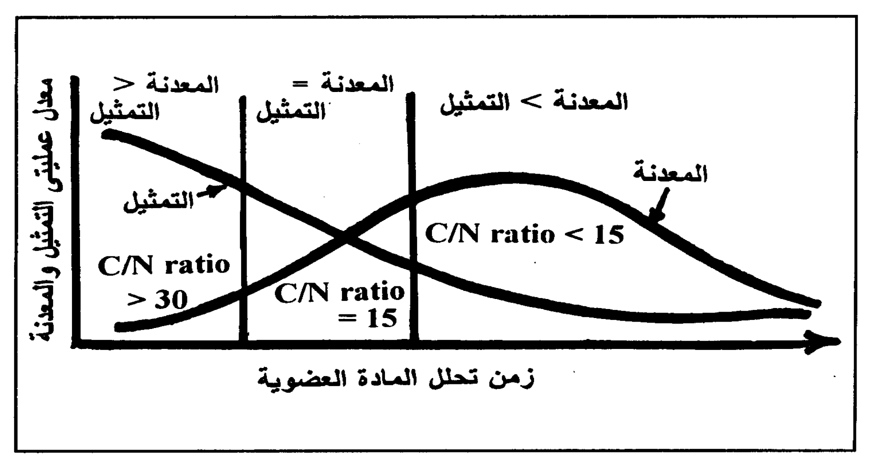
وتساهم الأحياء الدقيقة بالتربة الزراعية من بكتيريا وفطريات وأكتينوميستس Actinomycetes بقدر كبير فى عملية معدنة النيتروجين، وهناك عوامل متعددة تؤثر على هذه العملية، وبالتالى يجب مناقشتها بشىء من التفصيل وخاصة التى تتعلق بتركيب المادة العضوية والظروف المحيطة بعملية التحلل ومنها :

أ – نسبة الكربون إلى النيتروجين C/N ratio

تلعب نسبة الكربون إلى النيتروجين C/N ratio دوراً أساسياً مهماً فى عملية تحلل المادة العضوية، وبالتالى معدنة العناصر الموجودة فى تركيب هذه المادة . وتختلف هذه النسبة باختلاف أنواع بقايا النباتات وتمتاز بقايا النباتات النجيلية مثل قش الأرز والقمح باتساع نسبة الكربون إلى النيتروجين بها، حيث تصل من ٥٠ – ٦٠ : ١، بينما تضيق هذه النسبة فى بقايا النباتات البقولية (البرسيم – الفول) حيث تصل إلى ٢٥–٣٠ : ١ .

وهنا يجب الإشارة إلى إنه كلما كانت نسبة الكربون إلى النيتروجين واسعة أى أن المادة العضوية تحتوى على كمية منخفضة من النيتروجين فإن ذلك يعنى استهلاك النيتروجين المعدنى الموجود بالأرض الزراعية بواسطة الكائنات الدقيقة المحللة للمادة

العضوية والذى يُستخدم فى بناء أنسجتها أى يحدث له عملية تمثيل Immobilization، وعلى ذلك تقل الكمية الميسرة من هذا العنصر فى الأرض، ويعانى النبات النامى بها من نقص النيتروجين. وعلى هذا تتحدد السيادة لأى من عمليتى المعدنة والتمثيل فى الأرض بنسبة الكربون إلي النتيروجين بها بعد إضافة المادة العضوية (الأصلية + المضافة). حيث تكون السيادة لعملية التمثيل إذا زادت النسبة عن ٣٠:١، وبالتالى يختفى النيتروجين المعدنى من الأرض ويُمثل داخل أجسام الكائنات الدقيقة، مما ينتج عنه معاناة النباتات النامية من نقص النيتروجين. والعكس حيث يؤدى ضيق هذه النسبة أقل من ٣٠:١ فى الإسراع من عملية المعدنة، حيث يتساوى معدل العمليتين إذا كانت النسبة فى مدى ١٥-٣٠:١ كما يوضح ذلك الشكل (٤-٣)، وتكون السيادة لعملية المعدنة إذا وصلت هذه النسبة إلى ١٥:١، وبالتالى تجد النباتات النامية حاجتها من النيتروجين المعدنى، ويستمر التحلل حتى تصل النسبة إلى ١٠:١، وبعدها تقف عملية التحلل حيث تكون المادة العضوية وصلت إلى درجة متقدمة فى تحللها أى أصبحت فى صورة دُبال.



شكل (٤-٣): العلاقة بين نسبة الكربون إلي النيتروجين في المخلفات العضوية ومعدل عمليتي المعدنة والتمثيل للنيتروجين.

ولهذه النسبة أهمية كُبرى فى تكنولوجيا التسميد العضوى، حيث تساعد على تحديد نوع وميعاد إضافة السماد العضوى للنباتات النامية فى الحقل. فمثلاً إذا كان لديك مادة عضوية (مخلفات نباتية) لها نسبة واسعة أكبر من ٣٠:١ ، فإن مثل هذه البقايا لايمكن حرثها فى الأرض قبل أو أثناء زراعة المحصول مباشرةً وإلا سادت عملية التمثيل، وبالتالى ستعانى البادرات النامية من نقص النيتروجين المعدنى لفترة تختلف مدتها حسب هذه النسبة. ولذلك يُنصح بإضافة مثل هذه البقايا وحرثها بالأرض قبل الزراعة بمدة طويلة بحيث تحدث عملية التمثيل والأرض خالية من النباتات. فإذا لم يتوفر ذلك فيمكن إما خلط هذه البقايا مع سماد نيتروجينى بمعدل ١ كجم لكل ١٠٠ كجم نيتروجين/ ١٠٠ كجم قش) حتى تضيق النسبة، وبالتالى يمكن اختصار الزمن اللازم لبدء عملية المعدنة. أو يتم عمل كومة سماد **Compost** خارج الحقل، ثم ننتظر حتى تضيق النسبة (وذلك بعد فترة من التحلل) إلى الحد المناسب قبل إضافتها إلى الأرض، أما المحاصيل البقولية التى تُزرع كسماد أخضر فمن الممكن حرثها فى الأرض مباشرةً قبل الزراعة (المحصول التالى)، حيث تتميز هذه المحاصيل بضيق النسبة، وبالتالى تحدث عملية المعدنة بسرعة.

ب - الظروف البيئية المحيطة

تؤثر الظروف البيئية المحيطة (درجات حرارة - رطوبة - تهوية - **pH**) تأثيراً كبيراً فى تحديد طبيعة نشاط الكائنات الأرضية الدقيقة القائمة بعملية التحلل، وبالتالى عملية المعدنة للنيتروجين العضوى. ولتحديد تأثير كل عامل من العوامل السابقة يلزم دراستها منفردة وأيضا تأثيرها وهى متداخلة مع بعضها البعض. ومن الدراسات السابقة لكثير من العلماء يمكن أن نستخلص بأن أفضل رقم **pH** لعملية المعدنة هو من ٦,٥ - ٨، كما أن أفضل درجة حرارة من ٣٥ - ٤٥ْم وأى ارتفاع أو انخفاض عنها يُقلل من نشاط الكائنات القائمة بعملية المعدنة. أيضا تتم عملية المعدنة للنيتروجين تحت ظروف الأراضى المغمورة بالماء، لكن تتوقف عند تكوين الأمونيوم NH_4^+ ويرجع ذلك لعدم توفر ظروف التهوية الملائمة للكائنات الدقيقة المسئولة عن أكسدة الأمونيوم إلى نترات NO_3^-. وعلى الرغم من أن عملية المعدنة تحت هذه الظروف البيئية تكون بطيئة، إلا أن الكائنات الأرضية الدقيقة اللاهوائية **Anaerobic** تستطيع تحويل النيتروجين العضوى

إلى أمونيوم تحت القيم المرتفعة من C/N ratio بكفاءة عالية بالمقارنة بالكائنات الأرضية الهوائية. ومن هنا يمكن القول بأن المحصلة النهائية لمعدل عملية المعدنة للنيتروجين تحت الظروف اللاهوائية تكون مماثلة لها تحت الظروف الهوائية.

ثالثاً: عملية التأزت Nitrification

تُعرف على أنها عملية الأكسدة البيولوجية لبعض الأمونيوم الناتج من عملية النشدرة أو المضاف فى صورة أسمدة إلى نترات. وتتم هذه العملية على خطوتين:

١ – أكسدة الأمونيوم إلى نترات ويقوم بها بكتيريا Nitrosomonas

$$2NH_4^+ + 3O_2 \Rightarrow 2NO_2 + 2H_2O + 4H^+$$

٢ – يتم أكسدة النتريت إلى نترات وتقوم بها بكتيريا Nitrobacter

$$2NO_2 + O_2 \Rightarrow 2NO_3^-$$

$$\text{Net } 2NH_4^+ + 4O_2 \Rightarrow 2NO_3^- + 2H_2O + 4H^+$$

ومن التفاعلات السابقة يمكن استنتاج ما يلى:

١ – يشكل أيون الأمونيوم المادة الأساسية والأولية لعملية التأزت، وعلى هذا فإن تيسره بكمية كافية يُعتبر ضرورياً لاستمرار هذه العملية. ويُعتبر المطلب الأول لبكتيريا التأزت.

٢ – إن عملية التأزت عملية اكسدة أى يلزمها اكسجين بوفرة لكى تتم، وعلى ذلك فإن جميع العمليات الزراعية التى تؤثر على تهوية التربة الزراعية سيكون لها تأثيرها المباشر على هذه العملية. أى أن عمليات العزيق – الحرث والصرف الجيد تُنشط من هذه العملية، والعكس سوء التهوية وغمر الأرض بالماء يقلل من هذه العملية أو قد يوقفها تماماً.

٣ – إن عملية التأزت تُقلل من قاعدية التربة؛ وذلك نتيجة لاستلاكها للامونيوم، وفى نفس الوقت انطلاق أيونات الأيدروجين إلى الوسط مما يؤدى إلى زيادة حموضة الأرض. وقد لا يظهر هذا التأثير بشكل واضح فى الأراضى الغنية بكربونات الكالسيوم.

٤ - إن عملية الأكسدة هذه عملية بيولوجية أى تحتاج إلى كائنات أرضية دقيقة وفى نفس الوقت متخصصة، وعلى ذلك يجب أن تتوافر ظروف بيئية مناسبة لنشاطها مثل:

أ - رقم pH الأرض: حيث لوحظ أن هذه الكائنات تكون فى حالة نشاط أفضل فى الأراضى المتعادلة أو القاعدية، ويقل النشاط بزيادة حموضة الوسط.

ب - محتوى الأرض من الرطوبة: تحتاج هذه العملية لقدر معين من الرطوبة حيث وجد أن البكتيريا المسئولة عن هذه العملية حساسة لزيادة محتوى الأرض من الرطوبة عنه فى حالة نقصها، وتصل عملية التأزت أقصى درجاتها عندما تكون الرطوبة فى الأرض حول السعة الحقلية ويؤدى انخفاض الرطوبة حتى نقطة الذبول إلى انخفاض معدل التأزت بمقدار ٥٠٪ وإن كان لايوقفها.

جـ - درجة الحرارة: بصفة عامة يمكن القول بأن أمثل درجة حرارة لهذه العملية تختلف من أرض إلى أخرى وذلك كما أشارت الأبحاث المختلفة فى أماكن إجرائها. وعلى ذلك تكون الدرجة المثلى فى حدود ٢٥-٣٢°م وتقل عملية التأزت بانخفاض درجة الحرارة وذلك فى المناطق الجافة، ووجد أن هذه العملية تقف بزيادة درجة الحرارة عن ٥٠°م.

كما أشارت الأبحاث أن أكسدة الأمونيا إلى نتريت NO_2^- تكون أسرع من تحول النتريت إلى نترات NO_3^- فى الأراضى ذات الـ pH المرتفع (Amberger) سنة ١٩٩٣ b-، وعلى هذا قد يحدث تراكم للنتريت السام. فى حين وجد أنه فى الأراضى جيدة الصرف والمتعادلة أو قليلة الحموضة سرعان ما يتم أكسدة النتريت وتحويلها إلى نترات وذلك عند تواجد البكتريا القائمة بهذه العملية؛ ولذلك يكون من الطبيعى أن تتراكم النترات بكميات كبيرة. بالإضافة لما سبق وجد أنه عند تعرض الأراضى للجفاف يحدث تراكم للنترات فى الطبقة السطحية من التربة نتيجة لما تساهم به عمليات التأزت تحت ظروف الرطوبة المنخفضة والموجودة فى الطبقة تحت السطحية، ثم هجرة النترات المتكونة وصعودها إلى الطبقة السطحية مع المياه عن طريق الخاصية الشعرية. وبالتالى يكون من المتوقع وجود النيتروجين فى الطبقة السطحية فى صورة نترات بكمية أكبر منه فى صورة أمونيوم، ولهذا تستعمل بكميات أكبر وبشكل رئيسى من قبل النباتات النامية. ويكون مصير النترات المتكونة أو المضافة إلى الأرض فى صورة أسمدة نيتروجينية ما يلى:

١ – قد تُمتص النترات من قِبل النباتات النامية أو تستهلكها الأحياء الدقيقة فى بناء أنسجتها خلال عملية التمثيل Immobilization وهى في هذه الحالة تكون غير صالحة للامتصاص بواسطة النباتات.

٢ – قد تُفقد من الأرض أثناء عملية الرى مع مياه الصرف وذلك لقلة قدرتها على الادمصاص على الغرويات الأرضية لأنها تحمل شحنة سالبة.

٣ – يتعرض أيون النترات فى الظروف اللاهوائية إلى عملية اختزال ويُطلق عليها عملية عكس التأزت Denitrification.

فقد النيتروجين من الأرض Losses of Soil Nitroten

استمراراً لتفسير دورة النيتروجين فى الأرض الزراعية كما هو واضح فى شكل (٤–١)، نجد أن عنصر النيتروجين يتعرض للفقد بعدة طرق مختلفة وهو فى ذلك يُعتبر أكثر العناصر المغذية تعرضاً للفقد من الأرض وتلعب الصورة الموجود بها فى الأرض دوراً كبيراً فى هذا الفقد. وأهم طرق فقد النيتروجين ما يلى:

١ – إزالة النيتروجين بواسطة المحاصيل Crop Removal

يمكن القول بإن معظم النيتروجين الممتص بواسطة المحاصيل المختلفة والذى يُمثل كمية لا يُستهان بها كما هو موضح فى جدول (٤–٦) تُفقد من التربة الزراعية عند حصاد تلك المحاصيل، فيما عدا المحاصيل التى تُزرع كمحاصيل مراعى، حيث وجد أن حوالى ٨٥٪ من النيتروجين الممتص من قبل تلك المحاصيل يعود مرة أُخرى للتربة كمخلفات حيوانية للحيوانات التى تقوم بعملية الرعى، كذلك تُعتبر محاصيل الحبوب ذات أهمية فى هذا المجال، فمثلاً وجد أن محتوى ٤ طن من قش Straw القمح لمساحة هكتار (٤ر٢ فدان) هو من ٢٠ – ٢٥ كجم نيتروجين. وكما هو معروف يستخدم هذا القش كتبن فى تغذية حيوانات المزرعة والتى تُستخدم مخلفاتها فى التسميد كأسمدة عضوية، وبالتالى تعود هذه الكمية مرة أُخرى إلى التربة الزراعية.

٢ – فقد النيتروجين فى صورة غازية Caseous Losses

أشارت الأبحاث العديدة فى السنين الماضية بأن جزءاً كبيراً من النيتروجين يُفقد من الأرض الزراعية فى صورة غازية على هيئة أكاسيد نيتروجينية،

أو الامونيا وذلك كناتج لتفاعلات بيولوجية أو كيميائية. وهناك ثلاث طرق مُقترحة تُسبب هذه العملية:

جدول (٤-٦): كمية النيتروجين، الفوسفور والبوتاسيوم المستنزفة من الأرض الزراعية بواسطة بعض المحاصيل (بالكيلو جرام/ هتكار)

المحصول ⇓	الإنتاج طن / هكتار	النيتروجين (N)	الفوسفور (P_2O_5)	البوتاسيوم (K_2O)
الأرز	٣-٦	٥٠-١٠٠	٢٦-١٦٠	٨٠-١٩٠
القمح	٣-٥	٧٢-١٤٠	٢٧-٦٠	٦٥-١٣٠
الذرة	٣-٦	٧٢-١٢٠	٣٦-٥٠	٥٤-١٢٠
البطاطس	٢٠-٤٠	١٤٠-١٧٥	٣٩-٨٠	١٩٠-٣١٠
البطاطا	١٥-٤٠	٧٠-١٩٠	٢٠-٧٥	١١٠-٣٩٠
بنجر السكر	٥٠-١٠٠	٦٠-١١٠	٥٠-٩٠	١٥٠-٣٤٠
البصل	٣٥	١٢٠	٥٠	١٦٠
الطماطم	٤٠	١١٠	٣٠	١٥٠
الخيار	٣٥	٦٠	٤٥	١٠٠
فول الصويا	١-٢,٤	١٦٠-٢٢٤	٣٥-٤٤	٨٠-٩٧
الفول	٢,٤	١٥٥	٥٠	١٢٠
الفول السودانى	١,٥	١٠٥	١٥	٤٢
القطن	١,٧-٥	٧٣-١٨٠	٢٨-٦٣	٥٦-١٢٦
الدخان	١,٧	٩٠	٢٢	١٢٩

عن الـ FAO سنة ١٩٨٤.

أ- عملية عكس التأزت Denitrification

وأساس هذه العملية بانه تحت الظروف اللاهوائية للاراضى الزراعية فى المناطق الغدقة سيئة الصرف تقوم بعض أنواع الكائنات الدقيقة باختزال النترات والنتريت إلى صورة غازية وهى NO, N_2O, N_2، ثم تنطلق إلى الهواء الجوى. ويمكن توضيح عملية التأزت

بالمعادلة التالية:

$$NO_3^- \Rightarrow NO_2^- \Rightarrow NO \Rightarrow N_2O \Rightarrow N2$$

ويمكن تفسير ذلك بأنه فى حالة توافر ظروف تهوية جيدة تقوم البكتيريا بأكسدة المادة العضوية بواسطة الأكسيجين الجوى. أما فى حالة غياب الأكسيجين يتم الأكسدة باستخدام أكسيجين النترات كما توضحه المعادلات التالية:

فى وجود الأكسيجين الجوى:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \Rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + e$$

فى غياب الأكسيجين الجوى

$$C_6H_{12}O_6 + 4NO_3 \Rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 2N_2 + e$$

كذلك يحدث أكسدة للأحماض العضوية باستخدام أكسجين النترات كما يلى:

$$CH_3COOH + 8KNO_3 \Rightarrow 8KOH + 6H_2O + 10CO_2 + 4N_2 + e$$

والأحياء الدقيقة المسئولة عن هذه العملية هى من أنواع

Micrococcus, Achromobacter and Bacillus pseudomonas,

وبصفة عامة تتراوح الكمية المفقودة بهذه العملية من ٥ - ٥٠٪ من كمية النيتروجين المضافة، وكما سبق أن أشرنا فى جدول (٤-٣) بأن إجمالى الكمية المفقودة بهذه الوسيلة على مستوى العالم تُقدر بحوالى ٢٠٠-٣٠٠ مليون طن فى العام.

وهناك عدة عوامل تؤثر على عملية عكس التأزت يمكن إيجازها فى النقاط التالية:

١- توافر مادة التفاعل: وهى النترات والنتريت والمواد العضوية البسيطة القابلة للأكسدة (السكريات البسيطة والأحماض العضوية) يُزيد من الفقد.

٢- درجة الحرارة: كما هو معروف بأن يزداد نشاط الكائنات الدقيقة بالأرض مع ارتفاع درجات الحرارة، وبالتالى يزداد استهلاك الأكسيجين من قبل الكائنات الدقيقة وعلى هذا يكون من المتوقع زيادة كمية النيتروجين المفقودة عن طريق عملية عكس التأزت. ووجد أن معدل عملية عكس التأزت يكون أقصاه خلال فصلى الخريف

والربيع وبداية الصيف، وينخفض بطريقة ملحوظة خلال الصيف بسبب الحرارة المرتفعة جداً، كما أشارت أبحاث متعددة بأن أكبر كمية مفقودة من النيتروجين بهذه العملية عندما تكون درجة الحرارة مابين ١٥–٤٥° م.

٣– المادة العضوية: تزداد عملية عكس التأزت بزيادة محتوى الأرض الزراعية من المادة العضوية وخاصة فى الظروف المعتدلة الحرارة، وذلك نتيجة زيادة نشاط الكائنات الدقيقة واستهلاكها للأكسيجين، وأيضاً لأن المادة العضوية تُعتبر مصدراً للطاقة اللازمة لنشاط تلك الكائنات، وأخيراً تُعتبر مصدراً للأيدروجين اللازم لعملية الاختزال. وفي إحدى الدراسات باستخدام النيتروجين المشع N^{15} كما ذكره Mengel and Kirkby سنة ١٩٨٧ وجد أن معدل عكس التأزت يكون مرتفعاً فى الأراضى العضوية بالمقارنة بالأرض الطينية الثقيلة والتى تمتاز بأنها متوسطة التهوية والنتائج موضحة بجدول (٤–٧).

جدول (٤–٧): كمية النيتروجين المفقودة نتيجة لعملية عكس التأزت في أراضي مختلفة الصفات

نوع الأرض	النسبة المئوية لكمية النيتروجين المفقودة من الكمية الكلية المضافة
أرض رملية	١١–٢٥
أرض طينية	١٦–٣١
أرض عضوية	١٩–٤٠

٤– درجة تهوية الأرض: يزداد الفقد للنيتروجين بهذه العملية كلما سادت ظروف التهوية السيئة. وهذه الظروف مرتبطة بمحتوى الأرض من الرطوبة، وهذا لايعنى وجود تأثير مباشر للماء، بل أن السبب الرئيسى هو انخفاض كمية الهواء الأرضى بزيادة الرطوبة. وعلى ذلك لايُنصح باستخدام الأسمدة النتراتية فى مزارع الأرز لحدوث فقد منها بهذه العملية بجانب الفقد بالغسيل.

٥– رقم الـ pH للأرض، أشارت الأبحاث إلى أن ارتفاع الرقم عن ٥ يُسرع من كمية النيتروجين المفقودة بعملية عكس التأزت، ووجد أن اقصى كمية مفقودة تكون عند رقم pH متعادل ويميل إلى القاعدى الخفيف.

ب- تطاير الأمونيا Ammonia Volatilization

يحدث تطاير للأمونيا الناتجة من تحلل الأسمدة النشادرية أو اليوريا عند إضافتها للتربة إلى أمونيوم، وأيضاً الناتجة من معدنة النيتروجين العضوى بالأرض. وعادةً يكون الفقد بكمية كبيرة فى الأراضى القاعدية والأراضى الغنية بكربونات الكالسيوم ذات الرطوبة المتوسطة، حيث إنه فى حالة جفاف التربة يقل الفقد لعدم حدوث التفاعل، فى حين أنه عند ارتفاع الرطوبة فى الأرض تتوفر كميات كبيرة من الماء تسمح بذوبان الأمونيا وادمصاصها. ويمكن إيضاح كيفية حدوث الفقد عند إضافة أسمدة نيتروجينية مثل: سلفات الأمونيوم أو لليوريا بالمعادلات التالية:

أولاً: يحدث تحلل مائى لكربونات الكالسيوم

$$CaCO_3 + H_2O \Rightarrow Ca^{++} + HCO_3^- + OH^-$$

يتحد آيون الكالسيوم وأيون الأيدروكسيل الناتج من الخطوة السابقة مع السماد (سلفات الأمونيوم مثلاً).

$$Ca^{++} + 2OH^- + (NH_4)_2\,SO_4 \Rightarrow CaSO_4 + 2NH_3 \Uparrow + 2H_2O$$

أو يحدث تفاعل بين كربونات الكالسيوم مع كبريتات الأمونيوم ويتكون كربونات الأمونيوم.

$$(NH_4)_2\,SO_4 + CaCO_3 \Rightarrow (NH_4)_2\,CO_3 + CaSO_4$$

ثم يحدث تحلل لكربونات الأمونيوم.

$$(NH_4)_2\,CO_3 + H_2O \Rightarrow 2NH_3 \Uparrow + 2H_2O + CO_2$$

ومن التفاعل السابق يمكن القول بإنه إذا كان المركب الناتج من اتحاد الكالسيوم والأنيون المصاحب للأمونيوم فى السماد غير ذائب، فإن ذلك سيؤدى إلى تكوين المزيد من كربونات الأمونيوم، وبالتالى يحدث فقد للأمونيا بكمية أكبر. حيث أكدت كثير من الأبحاث أن الأسمدة التى تكون نواتج غير ذائبة مع الكالسيوم مثل $Ca(F^-, SO_4^-, HPO_4^-)$ تفقد كمية كبيرة من الأمونيا، بينما الأسمدة التى تكون نواتج ذائبة مع الكالسيوم مثل $Ca(NO_3^-, Cl^-)$ تفقد كمية قليلة من الأمونيا.

ويوجد العديد من العوامل التى تؤثر على تطاير الامونيا منها:

– رقم الـ pH: حيث وجد أنه بزيادة قاعدية الأرض يزداد فقد الامونيا من أسمدة الامونيوم واليوريا. ويمكن إيضاح طبيعة تأثير الـ pH على سلوك الامونيوم المتكون أو المضاف بواسطة المعادلة الآتية:

$$NH_4^+ + OH^- \Rightarrow NH_4OH \Rightarrow NH_3 \Uparrow + H_2O$$

أى أنه بزيادة تركيز أيون الأيدروكسيل فى الوسط يتجه التفاعل السابق نحو اليمين. وعلى ذلك يمكن أن نتوقع أن فقد الامونيا بالتطاير قد ينخفض كثيراً فى الأراضى الحامضية.

وجد أنه بارتفاع درجة الحرارة يزداد تحلل اليوريا، وبالتالى يزداد الفقد، وبصفة عامة يختلف تأثير درجة الحرارة على كمية الامونيا المفقودة بالتطاير حسب الأسمدة النيتروجينية المضافة وكذلك خواص الأرض. هذا بجانب عوامل أخرى مثل السعة التبادلية الكاتيونية، وجود الأملاح بالأرض، مستوى السماد المضاف وطريقة إضافته.

وبصفة عامة يمكن خفض الكمية المتطايرة للأمونيوم بخلط السماد النشادرى (الامونيومى) مع الطبقة السطحية من التربة الزراعية أو وضعه تحت سطح التربة، ولكن يُفضل إضافة الأسمدة النتراتية لمثل هذه الأراضى.

٣- تثبيت الأمونيوم Ammonium Fixation

يتعرض أيون الامونيوم المضاف إلى التربة أو الناتج من عملية المعدنة بواسطة معادن الطين القابلة للتمدد Expanded lattice، وبالتالى تقل حركته ودرجة صلاحيته للنبات. حيث يتم تثبيته بقوة بين الوحدات البلورية لمعادن الطين من نوع ٢ : ١ وتشمل المونتيمويللونيت Montmorillonite والإليت Illite والفيرميكيولايت Vermiculite. وإن ميكانيكية تثبيت الامونيوم مشابهة لتلك التى يُثبت بها أيون البوتاسيوم K^+، وتتم بحدوث تبادل بين أيون الامونيوم NH_4^+ الذائب فى المحلول الارضى وأيون موجب آخر موجود بين الوحدات البلورية، وتزداد الكمية المثبتة فى الطبقة تحت السطحية للأرض عنها فى الطبقة السطحية ويرجع ذلك لزيادة كمية الطين فى

الطبقات تحت السطحية .

وتفيد عملية التثبيت هذه فى حفظ الأمونيوم من الفقد مع مياه الصرف، ويمكن أن تستفيد منه النباتات النامية بشرط أن يكون لها مجموع جذرى قوى ونشط له القدرة على جذب وامتصاص الأمونيوم المدمص على أسطح الغرويات الأرضية . كذلك وجد أن الأمونيوم المثبت يمكن أن يتحول إلى نترات وذلك من خلال عملية التأزت . وفى إحدى الدراسات للعالمين Mengel و Scherer عام ١٩٧٩ تم تقدير كمية الأمونيوم المثبتة بواسطة معادن ٢ : ١ فوجد أنها حوالى ٢٠٠٠- ٣٠٠٠ كجم نيتروجين/ هتكار وأن حوالى ١٠٠- ٣٠٠ كجم نيتروجين/ هكتار تنطلق خلال فترة النمو . وتتأثر عملية التثبيت للأمونيوم بعدة عوامل منها :

١ - فترة التفاعل: يكون تثبيت الأمونيوم فى أقصى درجة له بعد إضافة الأمونيوم مباشرة، ويقل معدل التثبيت مع الزمن حتى الوصول إلى نقطة الاتزان .

٢ - كمية الأمونيوم المضافة: من الطبيعى أن تزداد الكمية المثبتة بزيادة الكمية المضافة . ولكن نسبة الأمونيوم المثبتة تقل مع زيادة الكمية المضافة كما يتضح ذلك من جدول (٤-٨) .

٣ - تعاقب التجفيف والترطيب للأرض: وجد أن التجفيف بعد إضافة الأمونيوم يزيد من الكمية المثبتة وذلك لسببين :

أولاً: بانخفاض الرطوبة فى الأرض يزداد تركيز الأمونيوم فى المحلول الأرضى، وبالتالى الكمية المتبادلة والمثبتة،

ثانياً: مع جفاف التربة يزداد التصاق الوحدات البلورية المكونة لمعادن الطين، أى تقل المسافات البينية بين هذه الوحدات لفقدها للماء، وبالتالى يزداد تثبيت الأمونيوم .

جدول (٤–٨): العلاقة بين الكمية المضافة والمثبتة من الأمونيوم لأرض يسود بها معدن الفيرميكيولايت

الكمية المضافة ملليمكافئ/ ١٠٠ جم تربة	الكمية المثبتة ملليمكافئ/ ١٠٠ جم تربة	النسبة المئوية للكمية المثبتة من الكمية المضافة
١	٠,٨٣	٨٣
٢	١,٣٩	٧٠
٥	٣,١٧	٦٣
١٠	٣,١٨	٣٢
٢٠	٣,٨٥	١٩
٤٠	٤,٤٨	١١

عن عواد كاظم مشحوت (١٩٨٧) – فى مستخلص ١:١

٤ – نوع معدن الطين السائد. بصفة عامة تزداد قدرة الأرض على التثبيت بزيادة محتواها من معادن ٢ : ١.

٥ – المادة العضوية: من الدراسات السابقة يمكن القول بإن للمادة العضوية تأثير مزدوج، حيث يحدث تثبيت للأمونيوم من خلال انجذابه إلى المجاميع الكربوكسيلية والفينولية المتأينة فى الوسط القاعدى كما يتضح من المعادلات الآتية:

$$O^- + NH_4^+ \Rightarrow O\,NH_4$$ (مجاميع فينولية)

$$-COO^- + NH_4^+ \Rightarrow -COO\,NH_4$$ (مجاميع كربوكسيلية)

والرأى الآخر يقول إن زيادة محتوى الأرض من المادة العضوية يقلل من الأمونيوم المثبت، وتفسير ذلك بأن جزءاً من المادة العضوية بعد تحللها قد يدمص بين طبقات الوحدات البلورية لمعادن الطين مما يقلل من دخول أيون الأمونيوم لمواقع التثبيت.

٦ – تأثير الأيونات الأخرى: يمكن القول بإن الأيونات التى تزيد من قدرة المعادن الأرضية على التمدد مثل: H^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} تقلل من تثبيت الأمونيوم،

والعكس بالنسبة للأيونات التى تقلص من هيكل معادن الطين مثل: K^+ , Rb^+ , Cs^+ . وقد أشارت كثير من الأبحاث أن أيون البوتاسيوم يعمل على عرقلة تثبيت الأمونيوم. ولكن تأثير هذا الأيون يعتمد على وقت إضافته بالنسبة إلى إضافة الأمونيوم، فالإضافة المسبقة للبوتاسيوم تقلل من الأمونيوم المثبت. ولكن إضافة البوتاسيوم بعد إضافة الأمونيوم لا يكون له تأثير واضح على الكمية المثبتة.

وفى النهاية يمكن القول بإن عملية تثبيت الأمونيوم لا تعتبر ذات أهمية كبيرة فى تغذية النبات وذلك لكون أكسدة الأمونيوم المثبت أبطأ بكثير من الأمونيوم المتبادل، كذلك لأن معدل تحرر الأمونيوم المثبت قليل. ولكن يجب مراعاة تأثير هذه العملية عند إضافة الأسمدة الحاوية على الأمونيوم إلى الأراضى الغنية بالطين القابل للتمدد من نوع ٢ : ١ ؛ لأن ذلك يقلل من كفاءة السماد المضاف.

٤ – الفقد بالغسيل Leaching Losses

كما هو معروف فإن أيون النترات NO_3^- أنيون سالب الشحنة، وعلى ذلك تكون فرصة ادمصاصه على أسطح الغرويات الأرضية قليلة، وذلك للتنافر نتيجة تشابه الشحنة. مما يُسهل من غسيله وفقده مع مياه الصرف. وقد يُدمص هذا الأيون على أسطح بعض الغرويات الأرضية والأكاسيد موجبة الشحنة وخاصة فى الأراضى الحامضية، وعند غياب هذه المواد يفقد هذا الأيون إلى الطبقات تحت السطحية أو مع مياه الصرف. وتتوقف كمية النترات المفقودة بالغسيل على كمّية المياه وعدد مرات الرى – محتوى الأرض من الأكاسيد والغرويات الموجبة الشحنة – قوام الأرض حيث يزداد الفقد بانخفاض كمية الطين فى الأرض كما توضحها نتائج Enzmann سنة ١٩٨٣ والموجودة فى جدول (٤–٩) . ويمكن تقليل فقد النترات بالغسيل باتباع المعاملات الزراعية التالية:

– استخدام كميات قليلة من المياه (ترشيد استهلاك مياه الرى).

– استخدام السماد النتراتى بالكمية المناسبة وفى الوقت الملائم.

– تجزئة كمية السماد المستخدمة.

– استخدام السماد النتراتى فى تسميد المحاصيل ذات الجذور العميقة.

جدول (٤-٩): تأثير محتوي التربة من الطين علي كمية النترات المغسولة منها في مزرعة أرز

التربـــة	كمية النترات المغسولة مع مياه الصرف (مجم / أصيص)	الكمية المغسولة ٪
١٠٠ ٪ رمل	٣,٤٦٩	١٠٠
٢/٣ رمل + ١/٣ طين	٢٦٦,٠	٥٧
١/٣ رمل + ٢/٣ طين	٤,١٩٠	٤١
١٠٠ ٪ طين	٨,١٥٠	٢

٥ - فقد النيتروجين العضوى Organic Nitrogen Losses

ويحدث ذلك نتيجة لفقد المادة العضوية من الطبقة السطحية بالأرض بواسطة عمليات الانجراف بالرياح أو بالمياه. وخاصة فى المناطق الموجودة على المنحدرات وهى طبقات غنية بالمادة الضوية، ويحدث ترسيب لهذه الطبقة فى منطقة أخرى.

ومما سبق نجد إنه من الضرورى إمداد النبات بحاجته من عنصر النيتروجين لزيادة المحصول فى معظم الأراضى. ويرجع ذلك لأن المصادر الطبيعية للنيتروجين تقتصر على النيتروجين العضوى والنيتروجين المثبت بيولوجياً. وكما هو معروف بأن أراضى المناطق الجافة والحارة وشبة الجافة كما هو فى مصر - فقيرة فى محتواها من المادة العضوية، بالإضافة إلى كثرة العوامل المؤدية إلى فقد هذا العنصر من الأراض. وعلى ذلك فاستمرار زراعة المحاصيل سنة بعد أخرى مع التكثيف الزراعى يؤدى إلى استنزاف محزون الأرض من النيتروجين. ولتحاشى هذا الاستنزاف وزيادة إنتاج المحاصيل يجب العناية بتجديد هذا المخزون وذلك بالعمل على زيادة محتوى الأرض من المادة العضوية بإضافة بقايا المحاصيل إلى الأرض - التسميد العضوى (سماد الإسطبل) - زراعة المحاصيل البقولية وخاصة محاصيل المراعى وأخيراً إضافة الأسمدة الكيماوية.

من السابق نجد أن طرق فقد النيتروجين من التربة متعددة وهذا يشكل فاقد اقتصادى كبير بجانب كونه ملوثا للبيئة. وعلى هذا لابد من اتباع كل الطرق الممكنة لمنع أو تقليل الفقد، ومن الناحية الزراعية يكون من الضرورى حساب الكميات المطلوبة من الأسمدة الآزوتية لكل محصول بدقة وفى نفس الوقت يتم استخدام السماد بكفاءة.

اختبارات نيتروجين التربة Soil Nitrogen Testes

كمؤشر عام، يعتبر ظهور أعراض نقص النيتروجين على النباتات المعروفة فى العالم أكثر وضوحًا بالمقارنة بأعراض نقص باقى العناصر المغذية. وعلى الرغم من ذلك لا تعتبر هذه الطريقة من الطرق الجيدة لتحديد مدى تيسر عنصر النيتروجين فى الأرض. ويرجع ذلك لأن حوالى ٩٧-٩٩٪ من نيتروجين التربة يوجد على صورة مركبات عضوية معقدة وهى صورة غير صالحة للامتصاص بواسطة النباتات فى حينه. وهذه الصورة من النيتروجين ممكن أن تتحول ببطء إلى الصورة الصالحة (المعدنية) وذلك نتيجة تحلل المادة العضوية بواسطة الكائنات الأرضية الدقيقة. وهناك عدة مشاكل تعوق تحديد موقف النيتروجين الميسر فى الأرض بواسطة اختبارات التربة للنيتروجين ومنها:

١ - إن معدل تحلل المادة العضوية وبالتالى معدنة النيتروجين العضوى بواسطة الكائنات الأرضية يتوقف على العديد من العوامل المؤثرة على نشاط تلك الكائنات منها درجة الحرارة الملائمة، الرطوبة، درجة التهوية، نوع المادة العضوية، قيمة الـ pH للتربة وعوامل أخرى.

٢ - الصورة الأساسية للنيتروجين الميسر وهى النيتروجين النتراتى ($N - NO_3$) والذى يكون عرضة لعملية الغسيل، وأيضًا تتعرض للفقد عن طريق عملية عكس التأزت Denitrification وكذلك تعرضها لعملية التمثيل Immobilization داخل أجسام الكائنات الدقيقة.

توجد عدة طرق لتقدير النيتروجين الميسر فى التربة والمستخدمة خلال الـ ٧٠ عام الماضية. وتقسم هذه الطرق والخاصة بتقدير النيتروجين النتراتى ($N\text{-}NO_2$) إلى مجموعتين أساسيتين وهما:

أ – اختبارات وصفية للنيتروجين الميسر.

ب – اختبارات النيتروجين المعدنى الأولى Initial inorganic N ، وداخل هاتين المجموعتين توجد طرق بيولوجية وكيميائية.

وأوسع الطرق المستخدمة انتشارا فى هذا المجال طريقة كلداهل Kjeldahl method ، وفيها يتم تحويل النيتروجين العضوى والمعدنى إلى أمونيا وذلك عن طريق عملية الهضم بواسطة حمض الكبريتيك المركز H_2SO_4 ، ثم يتم تقدير الأمونيا المتكشفة عن طريق المعايرة. ونظرًا لأن محتوى المادة العضوية من النيتروجين يكون ثابتًا نسبيًا، فإنه وبطريقة غير مباشرة يمكن تقدير كمية النيتروجين بالأرض وذلك بمعرفة النسبة المئوية للمادة العضوية أو الكربون العضوى فى الأرض. وهناك اختبارات أخرى تستخدم كمؤشرات للنيتروجين الميسر بالتربة ومنها: طريقة البرمنجنات القلوية Alkaline permanganate test، وفيها يتم معاملة عينة التربة بمحلول برمنجنات البوتاسيوم $KMnO_4$ وكربونات الصوديوم Na_2CO_3 وحمض الكبريتيك المخفف Dilute H_2SO_4 وأيدروكسيد الصوديوم NaOH, أيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ أو أيدروكسيد الباريوم $Ba(OH)_2$ مع الغليان، ويتم تقدير كمية الأمونيا الناتجة من أكسدة المادة العضوية فى الأرض. ومن أكثر الطرق انتشارا لتقدير النيتروجين المعدنى الأولى بالأرض، هى طريقة Phenodisul-fonic acid method وذلك لتقدير النيتروجين النتراتى ($N- NO_3$) وتقاس بواسطة Ni-trate ion electrode وذلك كطريقة روتينية وسريعة أو يتم الاستخلاص بواسطة محلول استخلاص كلوريد البوتاسيوم العيارى 1NKCl . وجدول (٤ – ١٠) يوضح النتائج المتحصل عليها بطريقة كلداهل والتى يمكن بها تحديد مدى خصوبة التربة بعنصر النيتروجين.

وفى عدة أراضى مختلفة القوام من رومانيا قام العالم Davidescu وآخرون سنة ١٩٨٢ باستخدام مستخلص محلول كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4 قوته ٠,١ و ٠,٢ عيارى لاستخلاص النيتروجين من عدة عينات تربة مختلفة فى قوامها ودرجة الحموضة بها. وتم تصنيف تلك الأراضى حسب محتواها من النيتروجين كما يوضحها جدول (٤–١١).

جدول (٤-١٠): الحدود الحرجة للنيتروجين بالتربة

الـ٪ للنيتروجين الكلى (تربة جافة)	التصنيف
> ٠,١	فقيرة جداً
٠,١ – ٠,٢	فقيرة
٠,٢ – ٠,٥	متوسطة (مدى طبيعى)
٠,٥ – ١,٠	غنية
> ١,٠	غنية جداً

عن Landon سنة ١٩٨٤.

جدول (٤-١١): كمية النيتروجين المستخلصة (ppm) بمحلول كبريتات البوتاسيوم من عدة أراضي مختلفة القوام ودرجة الـ pH

حالة الإمداد	أرض خفيفة القوام ذات pH			أرض متوسطة القوام ذات pH			أرض ثقيلة القوام ذات pH		
	> ٥,٥	٥,٥ – ٦,٥	< ٦,٥	> ٥,٥	٥,٦ – ٦,٥	< ٦,٥	> ٥,٥	٥,٦ – ٦,٥	< ٦,٥
منخفض	٣	٥	٦	٥	٦	٨	٦	٨	٩>
متوسط	٥	٨	٩	٨	٩	١١	٩	١١	١٢
طبيعى	٨	٩	١١	١٢	١٤	١٥	١٤	١٥	١٧
مرتفع	١١	١٤	١٥	١٧	١٨	٢٠	٢٠	٢١	٢٣
مرتفع جداً	١٤	١٥	١٧	٢٠	٢٣	٢٣	٢٣	٢٤	٢٦<

النيتروجين فى النبات Nitrogen in Plant

تتراوح نسبته فى النباتات المختلفة من ١,٥ – ٤٪ ويمكن إيجاز أهم الوظائف الحيوية للنيتروجين فى النبات فيما يلى :

١ – يتحد مع المركبات الكربونية المتكونة فى النبات ليكون مئات المركبات العضوية المختلفة والتى منها الكلوروفيل – البروتوبلازم – البروتين – الأحماض النووية – الفيتامينات والإنزيمات.

٢ – يزيد من نمو وتطور كل الأنسجة النباتية الحية.

٣ – يُحسن من جودة الخضراوات الورقية ومحاصيل الأعلاف ويُزيد من محتوى البروتين فى محاصيل الحبوب.

يمتص النبات النيتروجين من المحلول الأرضى إما فى صورة أيون الأمونيوم NH_4^+ أو أيون النترات NO_3^-. وبصفة عامة تختلف السيادة لأى من الأيونين حسب عوامل مختلفة سوف تُذكر فيما بعد. ويجدر الإشارة هنا إلى أن أيونات الأمونيوم تدخل مباشرة بعد امتصاصها مع الأحماض العضوية داخل النبات لتكون الأحماض الأمينية. بينما أيون النترات لابد أن يُختزل أولاً إلى أيون الأمونيوم على مرحلتين توضحهما المعادلة التالية :

$$NO_3^- + 2e \Rightarrow NO_2^- + 6e \Rightarrow NH_4^+$$

وتتم عملية اختزال النترات إلى نترات بمساعدة عوامل مساعدة موجودة فى السيتوبلازم، بينما اختزال النتريت إلى أمونيوم يتم بواسطة مركبات أخرى موجودة فى البلاستيدات الخضراء. وعملية الاختزال تتم فى الجذور وأيضاً فى الأجزاء الهوائية للنبات، ويختلف معدل الاختزال فى كل منها باختلاف النبات وتركيز النترات فى الأرض.

أعراض نقص النيتروجين على النبات

كما سبق فى ذكر الوظائف الحيوية للنيتروجين فى النبات نجد أنه عنصر ضرورى لنمو النبات، حيث يدخل فى تكوين البروتينات والبلاستيدات الخضراء والأحماض

النووية وغيرها من المركبات المكونة لخلاياه وأنسجته، وعلى ذلك فنقصه يؤثر بشكل مباشر على إنتاجية المحاصيل. ويمكن إيجاز أهم أعراض نقص النيتروجين على النباتات بصفة عامة فيما يلي:

١ - يحدث إعاقة لنمو النبات، أى يكون النبات قصير -السيقان رفيعة- الأوراق صغيرة.

٢ - يسود اللون الأصفر على النبات وذلك لعدم قدرة البلاستيدات الخضراء على التطور، ويظهر اللون الأصفر أولاً على الأوراق المسنة بداية من قمة الورقة، ثم يغطى جميع أجزاء الورقة. وقد تتشابه أعراض نقص النيتروجين والخاصة باللون الأصفر مع أعراض نقص عناصر أخرى مثل: الحديد والكالسيوم والكبريت إلا أن أعراض نقص العناصر الثلاثة الأخيرة تظهر على الأوراق الحديثة أولاً (لأن هذه العناصر غير قابلة للحركة داخل النبات عكس النيتروجين).

٣ - تنضج النباتات بسرعة مما يؤثر سلبياً على عملية التزهير، وبالتالى ينخفض المحصول.

٤ - ينخفض محتوى النبات بشكل عام من البروتين.

يزداد تشعب المجموع الجذرى للمحاصيل المنزرعة فى أراضى فقيرة فى محتواها من النيتروجين. وإن نسبة الجذور: المجموع الخضرى تكون مرتفعة، وقد تنعكس هذه النسبة بزيادة النيتروجين فى الأرض. وهذا يعنى أن الأراضى الغنية بالنيتروجين تكون جذور النباتات بها قصيرة وسميكة وجيدة التفرع. ويفسر ذلك بأن الجذر يستهلك كمية النيتروجين القليلة الممتصة من الأرض الفقيرة فى عنصر النيتروجين، وبالتالى تقل الكمية المنتقلة من الجذر إلى المجموع الخضرى لكى تتفاعل مع الكربوهيدرات لتكوين مزيد من الخلايا الجديدة مما يسبب ضعف إنتاجية المجموع الخضرى على حساب نمو المجموع الجذرى. وقد يؤدى هذه الحالة إلى تحرك الكربوهيدرات من الأوراق إلى المجموع الجذرى ويتفاعل مع النيتروجين الممتص مما يؤدى إلى مزيد فى نمو الجذور على حساب النمو فى المجموع الخضرى شكل (٤-٤). وطبيعى أن التسميد النيتروجينى يعكس هذه الحالة.

وفيما يلى أعراض نقص النيتروجين على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية:

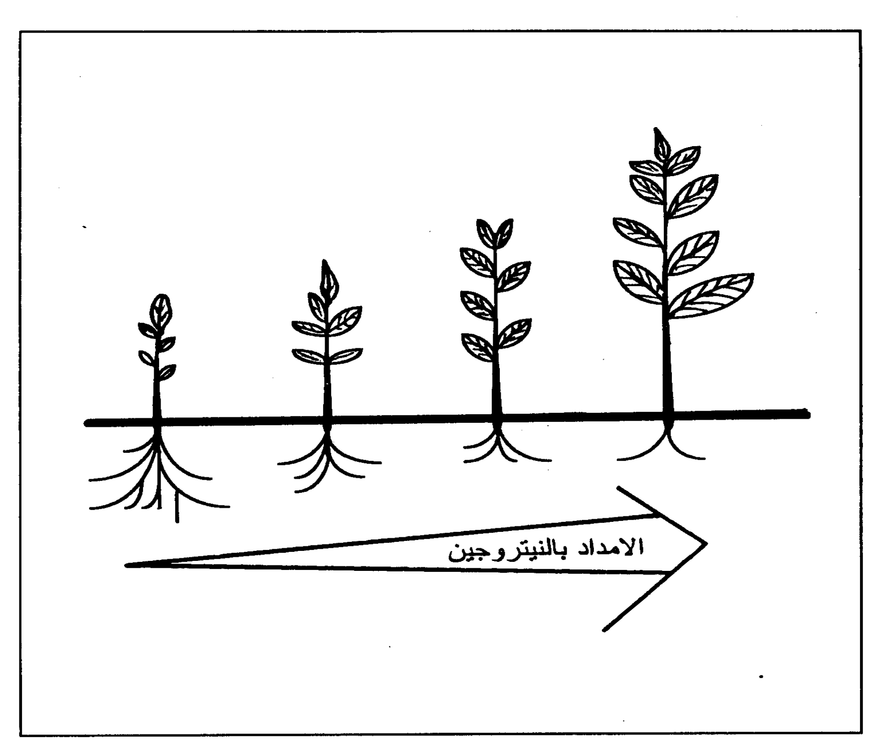
الموالح: تظهـر الأعـراض أولاً على الأوراق فى شكل لون أخضـر باهت يتـدرج إلى الأخضر المصفر، ثم يتحول إلى الأصفر الكامل. ويزداد معدل تساقط هذه الأوراق عن المعدل الطبيعى. وتتميز النموات الحديثة التى تخرج أثناء استمرار حالة النقص باللون الشاحب وبأن أوراقها الحديثة التى تخرج أثناء استمرار حالة النقص باللون الشاحب وبأن أوراقها الحديثة أقل حجماً وسمكاً عنها فى حالة الأشجار العادية. ويجب ملاحظة أنه يمكن أن تظهر أعراض نقص النيتروجين فى أى مزرعة يضاف لها كمية كافية من النيتروجين، ولكن يتم ريها بكمية زائدة من المياه عن احتياج الأشجار حيث يتم غسيل السماد، أو فى حال ارتفاع مستوى الماء الأرضى نتيجة لسوء الصرف، وأيضاً عند انتشار الحشائش فى البستان.

القمح، الشعير والأرز: يتحول لون الورقة بانتظام إلى اللون الأخضر المصفر مع إصفرار قمة النصل، وتظهر الأعراض على أوراق النبات كله مبتدئاً بالأوراق المسنة، ويؤدى هذا النقص إلى نقص فى تكوين السنابل.

الذرة: يقل حجم النباتات الصغيرة، ويصبح لون الأوراق أخضر مصفر، وتظهر الأعـراض على الأوراق السـفليـة أولاً بشكل إصـفـرار أطراف الورقـة، ثم يسرى هذا الإصفرار فى العرق الوسطى، بينما تبقى حواف الورقة خضراء، وينتشر الإصفرار بسرعة على كل أوراق النبات.

القطن: تظهر الأوراق السفلية بلون أخضر مصفر، وتقل مساحتها. وتنتشر الأعراض إلى أعلى النبات، وفى حالات النقص الشديد يكون ظهور الأعراض مبكراً على الأوراق الفلقية. ويكون حجم النبات أقل عن الحجم الطبيعى وفى جميع مراحل النمو وتظهر الساق بشكل قرمزى مع قلة التفريع، وزيادة التخشب، ويقل الإزهار والإثمار.

البطاطس: يقل نمو النبات، ويقصر الساق، ويصبح لون النبات أخضر فاتح إلى أخضر مصفر، وعند ازدياد النقص يشحب لون الوريقات السفلى ويتحول إلى اللون الأصفر الباهت، ويزيد تساقط الأوراق، ويقل إنتاج الدرنات.



شكل (٤-٤): تأثير زيادة مستوي الإمداد بالنيتروجين علي نسبة الجذور إلي السيقان في المراحل الأولي من نمو نباتات الحبوب

نماذج لأعراض نقص النيتروجين على بعض النباتات صفحة ٤٦١ ، ٤٦٢

الأسمدة المحتوية على النيتروجين (الأسمدة النيتروجينية)

Nitrogen Fertilizers

كما سبق إيضاح أن النبات يمتص النيتروجين إما على صورة أيون الأمونيوم NH_4^+ أو أيون النترات NO_3^-، وعلى ذلك تم تصنيع الأسمدة الكيماوية بحيث تحتوى على

إحدى الصورتين أو كليهما. ويمكن تقسيم الأسمدة النيتروجينية إلى خمسة أقسام وهى:

١ - الأسمدة النشادرية

جميع هذه الأسمدة ذائبة فى الماء، ويكون النيتروجين فى صورة أمونيوم، وعند تحرر هذا الأيون من هذه الأسمدة يتأكسد بسرعة فى الأراضى المتعادلة والقليلة الحموضة إلى أيون النترات. ويكون تأثير هذه الأسمدة حامضى على خواص الأرض كما يتضح من المعادلة التالية:

$$(NH_4)_2SO_4 + 4O_2 \Rightarrow 2NO_3^- + 2H_2O + 4H^+ + SO4^=$$

ومن المعادلة نجد أن جزىء واحد من كبريتات الأمونيوم به ٢ مول أمونيوم والذى يعطى ٢ مول أيدروجين H^+ لكل واحد مول من الأمونيوم NH_4^+ وتكون الاحتياجات الجيرية اللازمة لمعادلة الحموضة الناتجة عن ١ كجم نيتروجين فى صورة كبريتات أمونيوم هى ٧,١ كجم كربونات كالسيوم $CaCO_3$، بينما تنخفض هذه الكمية إلى النصف فى حالة استخدام اليوريا كمصدر للنيتروجين. ويتضح من المعادلة أيضاً أن عملية التأزت للأمونيوم يكون لها تأثير حامضى، فى حين إذا امتص أيون الأمونيوم مباشرة بواسطة النباتات لا يحدث هذا التأثير، وبمعنى آخر فى الأراضى جيدة التهوية تسود عملية التأزت، وبالتالى ينتج عن ذلك حموضة الأرض وتحت هذه الظروف تقل أو تنعدم عملية عكس التأزت. ومن الأسمدة النشادرية:

- **سماد كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$**: يحتوى هذا السماد على ٢١٪ نيتروجين، ٢٣,٤٪ كبريت.
- **سماد كلوريد الأمونيوم NH_4Cl**: ويحتوى على ٢٦٪ نيتروجين، كذلك يحتوى على نسبة كبيرة من الكلوريد، مما يقلل من استخدامه فى الأراضى المتأثرة بالأملاح. كما إنه يفضل على كبريتات الأمونيوم فى مزارع الأرز تجنباً لتعرض الكبريت للاختزال وتكوين غاز H_2S السام للنبات.
- **فوسفات أحادى الأمونيوم $NH_4H_2PO_4$**: ويحتوى على ١١٪ نيتروجين و٢١٪ فوسفور.

- **فوسفات ثنائى الأمونيوم $(NH_4)_2HPO_4$** : ويحوى من ١٦-٢١٪ نيتروجين و٢١-٢٣٪ فوسفور.

٢ - الأسمدة النتراتية

تُعتبر جميع الأسمدة النتراتية ذائبة بالماء، وعامل المفاضلة فى اختيار نوع السماد النتراتى هو الأيون المرافق لأنيون النترات. وبصفة عامة لا يُفضل استخدام هذه الأسمدة فى الأراضى المغمورة بالماء مثل: مزارع الأرز أو الأراضى التى تعتمد فى ريها على الأمطار؛ وذلك لقابلية أيون النترات للغسيل بسهولة. ولنفس السبب أيضاً يجب عدم إضافة الأسمدة النتراتية إلا بعد تكوين مجموع جذرى للنبات حتى لا يضيع مع مياه الصرف ومن هذه الأسمدة:

- **نترات الصوديوم $NaNO_3$** : يحتوى هذا السماد على ١٦٪ نيتروجين، ٢٦٪ صوديوم. ورغم أن هذا الملح متعادل إلا أن تأثيره الفسيولوجى فى الأرض قاعدى، حيث يؤدى إلى رفع الـ pH للأرض وخاصة تحت ظروف المناطق الجافة وشبه الجافة، وبالتالى لا يُنصح باستخدامها تحت هذه الظروف. هذا بجانب تأثير أيون صوديوم على تفريق حبيبات التربة والتأثير السام على النبات. ويُفضل إضافته للأراضى المنزرعة ببنجر السكر وذلك لحاجة هذا المحصول للصوديوم بالإضافة إلى النيتروجين.
- **نترات الجير المصرى (نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$)** : يحتوى هذا السماد على ١٥,٥٪ نيتروجين، و١٩,٥٪ كالسيوم. وهذا السماد شديد التميع ولذلك يجب عدم تعرض هذا السماد إلى الهواء إلا عند الاستعمال، ويعتبر هذا السماد جيداً للأراضى الجافة القلوية وبعض الأراضى الجيرية. ويفضل إضافة هذا السماد للأراضى الحامضية لاحتوائه على نسبة عالية من الكالسيوم.
- **نترات البوتاسيوم KNO_3** : يحتوى على ١٣,٥٪ نيتروجين و٣٦,٥٪ بوتاسيوم.

٣ - الأسمدة النتراتية النشادرية

وهذه الأسمدة تحتوى على النيتروجين فى صورة أيونى الأمونيوم والنترات، وهى ذائبة بالماء وتشمل:

- **سماد نترات الأمونيوم NH_4NO_3** : ويحتوى هذا السماد على النيتروجين بنسبة ٣٢-٣٥٪ وهو شديد التميع مما يجعل من الصعب تداوله، بالإضافة إلى كونه قابل للانفجار فى وجود الحرارة، كذلك يمكن أن يتفاعل هذا الملح مع المواد المختزلة مثل: المواد الكربونية، وعلى ذلك يجب الحرص أثناء تداوله وتخزينه.

- **سماد نترات النشادر الجيرية** : ويحوى ٢٠,٥٪ نيتروجين، وهو عبارة عن سماد نترات الأمونيوم مخلوطا بكربونات الكالسيوم $CaCO_3$، والغرض من إنتاجه هو التقليل من شدة تميع نترات النشادر وأيضاً تقليل قابليته للانفجار، وبالتالى يكون من السهل تداوله.

٤ - الأسمدة الأميدية

وهى أسمدة غير عضوية من الوجهة الزراعية رغم إنها مركبات عضوية من الناحية الكيماوية، حيث إنها لا تترك أى مخلفات عضوية فى الأرض بعد تحللها. أيضا تختلف فى سلوكها فى الأرض عن الأسمدة العضوية المعروفة. وهى تحوى النيتروجين فى صورة أميد Amides ومنها:

- **اليوريا $(NH_4)_2CO$** : وهو سماد غير ايونى ويطلق عليه أيضاً Caramide ويحتوى على ٤٦٪ نيتروجين. وتأثير اليوريا قاعدى فى بداية الأمر لتحللها إلى كربونات أمونيوم، ثم يصبح حامضياً نتيجة حدوث عملية التازت التى تحدث للأمونيوم وأيضا لتكوين حمض الكربونيك الناتج من ذوبان ثانى أوكسيد الكربون الناتج، ويوضح ذلك المعادلة التالية:

$$(NH_4)_2CO + 2H_2O \Rightarrow (NH_4)_2CO_3 + 4O_2 \Rightarrow$$
$$2NO_3^- + 3H_2O + 2H^+ + CO_2$$

ويوجد أيضاً بعض الأسمدة الأخرى غير الشائعة الاستخدام فى مصر ومنها سياناميد الكالسيوم ٢١-٢٢٪- سماد اليوريا المغطاة بالكبريت ٤٠٪ نيتروجين- سماد فوسفات اليوريا ١٧,٧٪ نيتروجين- وسماد اليوريا فورمالدهيد ٤٠٪ نيتروجين.

٥ - الأسمدة السائلة

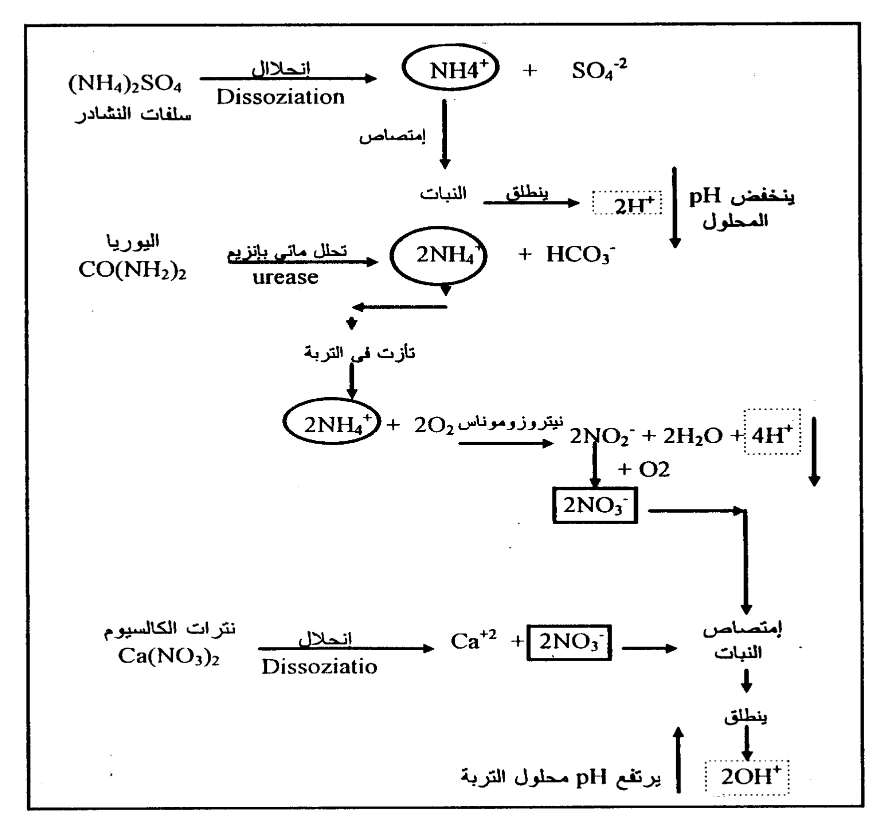
يوجد العديد من الأسمدة النيتروجينية فى الصورة السائلة والتى يمكن استخدامها مباشرة مع مياه الرى سواء كان بالرش أو الغمر، وتنتج هذه الأسمدة فى مصر ومنها :

- **سماد يوريا - نترات النشادر** : ويحتوى على النيتروجين فى صورة أميدية ونتراتية ونشادرية بنسبة ٣٢٪. وهذا السماد ذو كثافة قدرها ١,٣ جم/سم٣ ويحتوى اللتر منه على ٤١٦ جم نيتروجين.

- **نترات الكالسيوم السائل** : ويحتوى على النيتروجين فى صورة نترات ونسبته ١١٪. وكثافته ١,٦ جم/سم٣ ويحتوى اللتر منه على ١٧٦ جم نيتروجين. ويحتوى على الكالسيوم الذائب بنسبة ١٣٪.

- **سلفونترات النشادر** : ويحتوى على النيتروجين فى صورة نتراتية ونشادرية بنسبة ١٨٪، وعنصر الكبريت بنسبة ٢٪. وكثافة هذا السماد ١,٣ جم/سم٣ ويحتوى اللتر منه على ٢٣٤ جم نيتروجين، وهذا السماد يصلح لجميع أنواع المحاصيل المنزرعة بمختلف أنواع الأراضى ماعدا الأرز.

من ناحية التأثير الفسيولوجى للأسمدة النيتروجينية أوضحها **Amberger** سنة (١٩٩٣ b-) كما فى شكل (٤-٥) بأنه فى حالة إضافة الأسمدة النشادرية أو اليوريا والمضاف لها مثبطات التأزت **Nitrification inhibitors** مثل : **(Dicyandiamide)** وذلك بهدف إطالة فترة وجود الأمونيا فى التربة مما يجعل النباتات مضطرة لامتصاص النيتروجين على صورة أيون NH_4^+، وفى هذه الحالة يقوم النبات بإخراج بروتون (H^+) وذلك للحفاظ على التوازن الأيونى داخل الخلايا، بجانب حدوث عملية التأزت لجزء من الامونيوم الموجود وفى هذه الحالة ينخفض رقم الـ **pH** فى منطقة الريز وسفير. والعكس عند التسميد بالنترات لا يحدث هذا التفاعل؛ لأن جذور النباتات تفرز فى هذه الحالة أيونات الأيدروكسيل (بالتبادل مع النترات الممتصة)، وبالتالى ترفع رقم الـ **pH** حول الجذور.



شكل (٤-٥) : التأثير الفسيولوجي للأسمدة النيتروجينية

طريقة وموعد إضافة الأسمدة النيتروجينية

تضاف الأسمدة النيتروجينية للتربة مباشرة وبطرق متعددة وفقاً لطبيعة السماد والظروف المحيطة به وخصائص التربة. ومن الطرق الشائعة خلط السماد مع الطبقة السطحية أو إضافته نثراً Broadcasting على السطح قبل الرى. وقد يضاف السماد النيتروجينى ذائباً مع مياه الرى أو عن طريق التلقيم Banding بالقرب من النبات.

وحالياً أثبتت طريقة الإضافة بالرش **Foliar** سواء فى هيئة محلول مُعد لذلك أو مع مياه الرى بالرش كفاءة عالية للسماد. وبصفة عامة تتحدد الطريقة المناسبة بناء على نوع السماد المطلوب إضافته، وخواص السماد الطبيعية والكيميائية، وصفات التربة وذلك لتقليل فقد النيتروجين وتوفير الصور النيتروجينية الصالحة للامتصاص بواسطة النبات، والتى تؤدى إلى توفر النيتروجين بالكمية والصورة المطلوبة فى منطقة انتشار المجموع الجذرى.

ولما كانت الأسمدة النيتروجينية سهلة الذوبان، وبالتالى سهلة الفقد، فإن اختيار الوقت المناسب للإضافة ذات أهمية قصوى. وبصفة عامة يفضل أن يكون هذا الوقت قريب من وقت استعمال النبات لهذه الأسمدة وخاصة فى الأراضى الرملية. إن إضافة الأسمدة النيتروجينية يفضل غالباً قبل وبعد الزراعة بفترة قصيرة وذلك حتى يتوفر هذا العنصر منذ بداية موسم النمو لمساهمته فى بناء خلايا وأنسجة النبات. علاوة على تجنب البذور والبادرات الصغيرة التركيز المرتفع من الامونيا ونواتج عملية التأزت الضارة. وقد تضاف الكمية الكلية من السماد على دفعتين: الأولى قبل أو بعد الزراعة بفترة قصيرة، والثانية يحددها نوع السماد وطول موسم النمو ولكنها غالباً ما تضاف بعد فترة لا تزيد عن شهر من موعد الزراعة. وحالياً حددت الدراسات والأبحاث أنسب المواعيد لإضافة الدفعات السمادية وكمياتها للمحاصيل المختلفة وفى الأراضى المختلفة.

وعموماً لا تُحدد كمية الأسمدة النيتروجينية بطريقة أو ميعاد الإضافة، بل تُحَدد حسب محتوى الأرض من النيتروجين المُيسر للنبات وأيضاً النيتروجين الكلى بالتربة -نوع المحصول- طول موسم النمو- والظروف البيئية المحيطة وخصائص كل من الأرض والسماد. وفى نشرة معهد بحوث الأراضى والمياه- بمركز البحوث الزراعية بالجيزة سنة ١٩٩٣ تم اقتراح مواعيد إضافة الأسمدة النيتروجينية للمحاصيل المختلفة كالآتى:

المحاصيل البقولية: (دفعة واحدة) عند الزراعة كجرعة تنشيطية.

القمح: (ثلاث دفعات) الأولى عند الزراعة، والثانية فى طور التفريع، والثالثة قبل طرد السنابل.

الذرة الشامية: (ثلاث دفعات) الأولى عند الزراعة، والثانية بعد خف النباتات، والثالثة أمام الرية التالية.

القطن: (دفعتان) الأولى بعد خف النباتات والثانية أمام الرية الثالثة.

الأرز: (دفعتان) الأولى بعد الشتل بأسبوعين، والثانية قبل طرد السنابل.

قصب السكر: (أربع دفعات) الأولى بعد تكامل الإنبات بعد شهرين، والدُفعات من الثانية وحتى الرابعة كل ثلاثة أسابيع.

البصل: (دفعتان) بعد الشتل بأسبوعين، والثانية بعدها بشهر.

الكرنب: (دفعتان) الأولى بعد الشتل بأسبوعين، والثانية بعدها بشهر.

البرتقال: (أربع دفعات) الأولى عند خروج العين والثانية بعد تمام العقد.

العنب: (ثلاث دفعات) الأولى عند خروج العين، والثانية بعد عقد الثمار، والثالثة بعدها بأسبوعين.

الفصل الخامس

الفوسفور Phosphorus



الفوسفور Phosphorus

يتشابه الفوسفور مع النتروجين فى مدى أهميته بالنسبة للنبات على الرغم من وجوده فى أنسجة النبات بكميات أقل من عنصرى النيتروجين والبوتاسيوم، حيث يمتص النبات هذا العنصر لسد احتياجاته لمختلف العمليات الحيوية مثل: عمليات التمثيل الضوئى وتكوين النوايا وانقسام الخلايا وتكوين البذور وتنظيم العمليات الخلوية ونقل الصفات الوراثية، كما أن للفوسفور دوراً أساسياً فى تكوين مركبات الطاقة.

الفوسفور فى الأرض Phosphorus in Soil

تختلف الأراضى فى محتواها من الفوسفور الكلى متأثرة بالعديد من العوامل أهمها: مادة الأصل – الاستغلال الزراعى – المناخ.. إلخ. وبصفة عامة يكون محتوي الأراضى من الفوسفور الكلى Total phosphours (P) فى مدى يتراوح بين ٠,٠٢ – ٠,١٥، وهذه الكمية تكون مرتبطة بوجود المادة العضوية حيث يُمثل الفوسفور العضوى من ٢٠– ٨٠٪ من الفوسفور الكلى.

أوضحت الدراسات على الأراضى المصرية كما ذكرها بلبع سنة ١٩٨٨ بأن الأراضى الطينية الرسوبية تحتوى على نحو ١٢٠٠ جزء / مليون من الفوسفور الكلى، يليها الأراضى الطفلية الجيرية (٦٠٠ جزء / مليون)، بينما الأرض الرملية تحتوى علي (٤٠٠ جزء / مليون). كما يتضح من جدول (٥–١). وتعتبر الصورة المعدنية هى السائدة فى الأراضى المصرية لانخفاض محتوى هذه الأراضى من المادة العضوية.

جدول (٥–١): محتوي الأراضي المصرية من الفوسفور محسوبة بالجزء في المليون

نوع الأرض	الكلى	المعدنى	العضوى
الرسوبية	٦٥٠– ١٧٨٠	٩٩٠– ١٢٥٠	٤٠– ٢٠٠
الرملية	٢٣٠–٨٠٠	٢٠٠–٤٠٠	٢٠–٨٠
الجيرية	٣٠٠–٥٨٠	٢٠٠–٦٥٠	١٠–٤٠

صور الفوسفور فى الأراضى Forms of soil Phosphorus

كما هو معروف ان الفوسفور المعدنى هو المصدر الرئيسى والأساسى للفوسفور فى الأراضى الزراعية. حيث إنه مع بداية تكوين الأراضى لايكون بها إلا الفوسفور المعدنى والناتج من تجوية مادة الأصل التى يكون الفوسفور أحد مكوناتها، ثم بعد ذلك ومع استغلال هذه الأراضى زراعياً يُمتص هذا الفوسفور بواسطة النباتات والكائنات الحية الدقيقة الموجودة بالتربة الزراعية، ويصل أيضاً إلى الحيوانات التى تتغذى على هذه النباتات، وبالتالى يتحول جزء من هذا الفوسفور المعدنى إلى فوسفور عضوى داخل أنسجة هذه الكائنات ضمن المركبات العضوية التى يدخل الفوسفور فى تركيبها. وبعد موت هذه الكائنات الحية وتحلل بقاياها يعود الفوسفور مرة أخرى إلى الأرض فى صورة عضوية وأخرى غير عضوية. وعلي هذا يمكن تقسيم صور الفوسفور فى الأراضى الزراعية بشكل عام إلى قسمين:

١ - الفوسفور المعدنى Inorganic Phosphorus

الفوسفور المعدنى فى الأرض الزراعية مصدره الأصلى وبشكل كبير يكون ناتج تجوية وتحلل الصخور المحتوية على الفوسفور. وعلى ذلك فإنه يوجد على هيئة مركبات تحتوى على الكالسيوم، الالومنيوم، الحديد، الفلوريد أو عناصر أخرى. ولخصائص الأرض الطبيعية والكيميائية دور كبير في تحديد سيادة هذه المركبات فى الأرض الزراعية.

وتُعتبر جميع مركبات الفوسفور قليلة الذوبان فى الماء مما يؤثر سلبياً على الكمية الميسرة من هذا العنصر للنبات، حيث تكون هذه الكمية قليلة جداً في المحلول الأرضى أو قد تكون معدومة، وتُمثل مجموعة الاباتايت Apatite group المصدر الرئيسى له مثل الهيدروكسى أباتايت، فلور أباتاتت (والتى تُعتبر أكثر الانواع شيوعاً)، الكلور أباتيت والكربونات أباتايت (جدول ٥-٢).

جدول (٥-٢) : المركبات الفوسفاتية الشائعة الانتشار فى الأراضي

الرمز	المركب
$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$	Hydroxy apatite هيدروكسى أباتيت
$Ca_{10}(PO_4)_6(F)_2$	Flour apatite فلورو أباتيت
$CaHPO_4$	Dicalcium phosphate فوسفات ثنائى الكالسيوم
$Ca_3(PO_4)_2$	Tricalcium Phosphate فوسفات ثلاثى الكالسيوم
$AlH_2PO_4(OH)_2$	Variscite الفيرسيت
$FeH_2PO_4(OH)_2$	Strengite السترنجيت

عن Mengel and Kirkby سنة ١٩٨٧ .

وفى الأراضى الحامضية تنتشر معادن الفوسفات المرتبطة بالحديد والألومنيوم وهى أيضاً قليلة الذوبان . وبصفة عامة لايمكن النظر إلي هذه المركبات بأنها ثابتة بل إنها تتأثر بخواص التربة والزمن والظروف الأُخرى المحيطة ومما يؤكد ذلك تعدد صور المركبات الفوسفاتية وخصائصها المنتشرة فى الأراضى .

٢- الفوسفور العضوى Organic Phosphorus

يوجد الفوسفور العضوى بالأرض الزراعية إما فى صورة مركبات فوسفورية عضوية أو مركبات فوسفورية غير عضوية مرتبطاً بمركبات عضوية، وتُمثل هذه الصورة كما سبق ذكرها من ٢٠ إلى ٨٠٪ من الفوسفور الكلى بالطبقة السطحية للتربة الزراعية، ومن هذا المدى نجد أن هناك اختلافاً شاسعاً بين الأراضى المختلفة فى محتواها من الفوسفور العضوى .

ومصدر الفوسفور العضوى بالأرض هو المادة العضوية الناتجة من جذور وبقايا النباتات والأسمدة العضوية المضافة . ويضم الفوسفور العضوى بالأرض العديد من المركبات ولكن عدد كبير منها غير معروف حتى الآن . وتتحلل بعض المركبات الفوسفورية العضوية الموجودة بأجزاء النباتات سريعاً بوصولها إلى الأرض مثل : مركبات

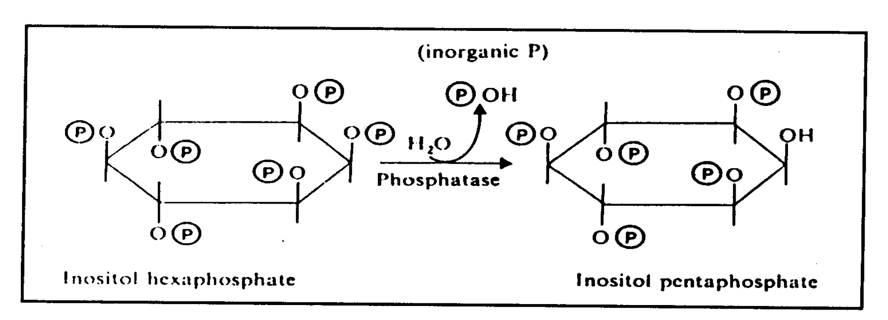
السكر الفسفرة Phosphorylate sugar ولكن الفوسفور العضوى الذى يُستخلص من الأرض يُعتبر شديد المقاومة لفعل الكائنات الأرضية الدقيقة، وأهم هذه المركبات هو الفيتين Phytin وهوأحد أملاح الكالسيوم أو الماغنسيوم لحامض الفايتيك Phytic acid، وينتج حمص الفايتيك من اتحاد حمض الفوسفوريك مع الإينو سيتول Inositol. وبالتالى تكون المركبات الشائعة هى فوسفات الإينو سيتول Inositol phosphate ويُمثل من ٣٠ – ٥٠٪ من الفوسفور العضوى الكلى كما ذكرها Anderson سنة ١٩٦٩، الفوسفوليبيدات Phospholipids وتتراوح نسبته من ٠,٥ – ٧٪ من الفوسفور العضوى الكلى، والحمض النووى Nucleic acids phytin والذى يُعتقد بأنه هو ومشتقاته يُمثل من صفر إلى ١٠٪ من الفوسفور العضوى الكلى بالأرض كما ذكرها بلبع سنة ١٩٨٨.

ونسبة الفوسفور العضوى بالمحلول الأراضى عادة ما تكون صغيرة فأكثره فى الصورة الصلبة وغالباً ما تكون غير صالحة للامتصاص بواسطة النبات، وبالتالى تتوقف صلاحية المركبات العضوية لتغذية النبات على عوامل كثيرة يُعتبر رقم pH الأرض أهمها. وعلى ذلك لكي يستفيد النبات من الفوسفور العضوى يجب أولاً أن يتحول إلى فوسفور معدنى بواسطة عملية يُطلق عليها اسم المعدنة Mineralization والتى بها يتحول الفوسفور العضوي إلى فوسفور معدنى نتيجة تعرض مركبات الفوسفور العضوى بالأرض إلى نشاط أنواع مختلفة من الكائنات الدقيقة. وتعتبر عملية المعدنة أو التمثيل للفوسفور مشابهة لما يحدث للنيتروجين، وكقاعدة عامة فإن معدنة الفوسفور تكون أكثر سرعة تحت الظروف المناسبة لعملية النشدرة Ammonification، حيث أشارت الدراسات بوجود ارتباط معنوى قوى بين معدنة النتروجين والفوسفور. وهناك عدة عوامل تؤثر على معدنة الفوسفور العضوى منها:

١– نسبة الكربون إلى الفوسفور فى المادة العضوية الموجودة بالتربة الزراعية (C/P ratio) حيث إن إضافة المادة العضوية إلى التربة لا يعنى إنها تؤدى إلى سيادة عملية المعدنة للفوسفور العضوى بل قد يكون لعملية التمثيل Immobilization تاثير مباشر على عملية المعدنة. وعلى ذلك تكون نسبة C/P هى المحددة للاتجاه السائد بعد إضافة المادة العضوية، فإذا كانت النسبة ٢٠٠ : ١ أو أقل تكون السيادة لعملية

المعدنة، فى حين أن النسبة ٣٠٠ : ١ أو أكثر تعنى فقد الفوسفور الميسر نتيجة لعملية التمثيل.

٢– نشاط الكائنات الأرضية المتخصصة (مثل **Penicillium, Mucor aspergillus** **Pseudomonas, Bacillus)** وكمية إنزيم الفوسفاتيز **Phosphatase enzyme** المنطلق من هذه الكائنات وجذور النباتات النامية. ولذلك فإن جميع العوامل المؤثرة على نشاط الأحياء الأرضية وخاصة المتخصصة منها مثل درجة الحرارة– الرطوبة– التهوية– رقم **pH** التربة – وكثافة الغطاء النباتى يكون لها تأثير كبير على عملية المعدنة. وتوضح المعادلة التالية كيفية انطلاق الفوسفور المعدنى خلال عملية المعدنة ودور إنزيم الفوسفاتيز فى ذلك كما أوضحه **Mengel & Kirkby** سنة ١٩٨٧.



بعد استعراض الصور المختلفة للفوسفور فى التربة، وبالنظر لتلك الصور من زاوية أخرى عند إدخال عامل الزمن وكذلك معدل تيسر الصور المختلفة للنبات يمكن تقسيم جميع الصور إلى ثلاث مجاميع ذات خصائص كيميائية وفيزيوكيماوية محددة وهى :

١– الفوسفات الذائبة فى المحلول الأرضى **Soluble phosphate in soil solution**

٢– الفوسفات غير المستقرة (القابل للإحلال أو التغير) **Phosphate in the labile pool**

٣– الفوسفات المستقر **Phosphate of the non- labile fraction**.

أولاً : الفوسفات الذائبة فى المحلول الأرضى :

Soluble Phosphate in Soil Solution

تمتص النباتات الفوسفور بشكل رئيسى فى صورة أيونات الفوسفات المعدنية الاحادية والثنائية $HPO_4^{2-}, H_2PO_4^-$ وهذه الايونات تكون موجودة فى المحلول الأرضي وفى أى وقت بتركيزات قليلة جداً، وذلك على الرغم من كبر محتوي الأرض من الفوسفور الكلى. وبصفة عامة لايزيد التركيز عن بضعة أجزاء فى المليون، وفي الغالب يكون أقل من واحد جزء فى المليون، ويعزى هذا التركيز المنخفض إلى سرعة تثبيت الفوسفور بالطرق المختلفة فى التربة. ويعتبر الفوسفور الذائب فى محلول التربة علي الرغم من قلة تركيزه مهماً جداً من ناحية تغذية النبات. فهو أول من يتحرك لسد احتياجات النباتات النامية، وعلى ذلك يجب أن يجدد باستمرار وإلا فإن المحصول لن يحصل على الكفاية اللازمة من الفوسفور التى تمكنه من النمو في مرحلة النضج. وعلى ذلك تعتبر السرعة التى يتجدد بها تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى ذا أهمية قصوى. ومن جهة أخرى، فإن النبات يمتص كميات كبيرة من الماء لإنتاج المادة الجافة والتى تقدر بحوالى ٥٠٠ كيلو جرام ماء (محلول أرضى) لكل واحد كيلو جرام مادة جافة، الأمر الذى يجعل كمية الفوسفور الممتصة مع هذه الكمية من الماء قليلة وغير كافية، ولذلك يجب تجديد تركيز الفوسفور الذائب فى المحلول الأرضى. ويمكن توضيح أهمية تجديد محلول التربة من الفوسفور من خلال الأمثلة التالية :

١- إذا كانت كثافة الأرض الظاهرية هى ١٫٥ جم/ سم ٣ (١,٥ طن/م٣)، ومحتواها من الرطوبة ٢٥٪ على أساس الوزن الجاف، وتركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى ٠,٥ جزء فى المليون، ويلزم المحصول النامى ٢٠ كجم فوسفور خلال موسم النمو. المطلوب حساب عدد المرات التى يلزم أن يتجدد فيها تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضي خلال موسم نمو هذا المحصول :

الحل:

وزن الفدان لعمق ١٥ سم = ٤٢٠٠ X ١,٥ X ٠,١٥ = ٩٤٥ طن

= ٩٤٥٠٠٠ كجم

وزن المحلول الأرضي للفدان = ٩٤٥٠٠٠ X ٢٥ ÷ ١٠٠

= ٢٣٦٢٥٠ كجم

كمية الفوسفور الذائبة فى المحلول الأرضى = ٢٣٦٢٥٠ X ٠,٥ = ١١٨١٢٥ مجم

= ٠,١٢ كجم

فإذا كان الامتصاص والتجديد للفوسفور فى المحلول الأرضي متعاقبين ويتم بصورة تامة في الأرض فإن :

عدد المرات التى يلزم أن يتجددها المحلول الأرضى = ٢٠ ÷ ٠,١٢ = ١٦٧ مرة تقريبا

٢- إذا كان معدل النتح Transpitation ratio لنبات ما = ٥٠٠، وتركيز الفوسفور في أنسجة هذا النبات = ٠,٣٪، وتركيز الفوسفور فى المحلول الأرضي = ٠,٣ جزء في المليون.

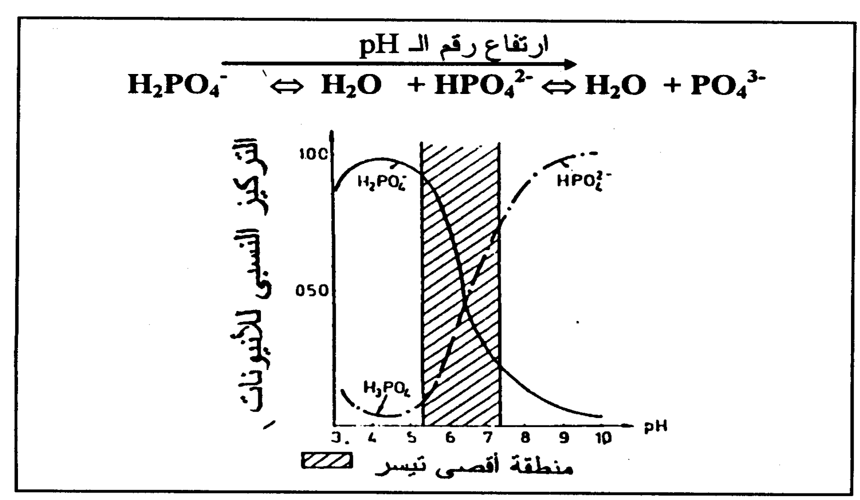
أى أن كل واحد كيلو جرام مادة جافة بها ٠,٣ ٪ X ١٠,٠٠٠ = ٣٠٠٠ ملليجرام فوسفور.

والـ ٥٠٠ كيلو محلول أرضى بها (٥٠٠ X ٠,٠٣ = ١٥,٠٠ ملليجرام فوسفور)، وعلى ذلك يكون من المفروض أن يمتص النبات ١٠٠,٠٠٠ كيلو جرام ماء (٥٠٠X٣٠٠) ÷ ١٥= ١٠٠,٠٠٠) وهذا لايمكن تحقيقه عملياً لأن هذه الكمية أكبر من معدل النتح بـ ٢٠٠ مرة، وبالتالى لابد من تجديد تركيز الفوسفور في المحلول الأرضى (والحفاظ عليه ٠,٠٣ جزء فى المليون) ٢٠٠ مرة خلال امتصاص النبات لـ ٥٠٠ كيلو جرام ماء. وهذا يبين أهمية انتشار الفوسفور خلال المحلول الأرضى من على أسطح الغرويات الأرضية ومن المناطق ذات التركيز المرتفع إلى المناطق ذات التركيز المنخفض، وبالتالى يتضح أهمية الماء فى امتصاص النبات لاحتياجاته من الفوسفور. ويطلق على قدرة الأرض على تجديد تركيز الفوسفور الذائب فى المحلول الأرضى عند انخفاضه اسم السعة التنظيمية للفوسفور Phosporus buffering capacity. وتتوقف هذه السعة على كمية الفوسفور القابل للحركة، وعلى السرعة التى يخرج بها هذا الفوسفور من على أسطح الجسم الصلب إلى المحلول الأرضى. وكلما كان معدل خروج الفوسفور إلى المحلول الأرضى سريعًا فإن ذلك يدل على قدرة الأرض على تجديد المحلول. أى أن للأرض

سعة تنظيمية عالية. وتُعتبر السعة التنظيمية من العوامل الهامة فى تحديد كمية السماد الفوسفاتى الواجب إضافتها، حيث تقل الكمية الواجب إضافتها مع زيادة السعة التنظيمية للأرض، وعادة تكون السعة التنظيمية للأرض ناعمة القوام أعلى منها فى الأراضى خشنة القوام.

وكما هو معروف بأن السطح الفعال للامتصاص على جذور النبات هو قمته المرستيمية، وكلما تحركت الجذور في التربة فإنها تلامس مناطق جديدة لم يسبق أن حدث امتصاص فيها (الاعتراض الجذري)؛ لذا فإن إعادة تجهيز المحلول الأرضى بالفوسفور من المحتمل أن يكون سريعاً فى مناطق صغيرة حول نهاية الجذور وبشكل بطئ فى مناطق كبيرة حول الأجزاء القديمة من الجذر حيث يكون الامتصاص بطيئاً.

إن تركيز الأنواع المختلفة من أيونات الفوسفات فى المحلول الأرضي مرتبط بشكل وثيق برقم pH الأرض، فأيون الفوسفات الأحادية $H_2PO_4^-$ يسود في الوسط الحامضى، بينما أيون الفوسفات الثنائى HPO_4^{2-} يسود فى الوسط ذات pH أكثر من ٧ وهذه العلاقة موضحة فى شكل (٥-١).



شكل (٥-١): تأثير رقم الـ pH علي نوع أيون الفوسفات في المحلول الأرضي

ومع افتراض عدم وجود أيونات مثل الحديد والالومنيوم والكالسيوم أو الماغنسيوم، وذلك لان فى وجود هذه الايونات تتكون فوسفات الحديد والالومنيوم غير الذائبة والمترسبة وهذا يحدث فى الوسط الحامضى، وأيضا حدث ترسيب لفوسفات الكالسيوم والماغنسيوم فى الوسط القاعدى (pH أكبر من ٧) وتوجد سلسلة من المركبات الفوسفاتية والمختلفة فى درجة ذوبانها تتكون تحت ظروف الأراضى المختلفة سوف نتعرض لها بشىء من التفصيل فى جزء لاحق.

وبصفة عامة وكقاعدة فإن أكبر درجة تيسر فى الأرض لأكثر المحاصيل الزراعية تكون فى مدى pH يتراوح بين (٥,٥ – ٧). وبجانب رقم pH الارض هناك عوامل أخرى تؤثر على تيسر لفوسفور، وبالتالى تركيز الفوسفور الذائب فى المحلول الأرضى منها :

أ – السعة الادمصاصية للفوسفات بالأرض

The P Adsorption Capacity of soils

فى الأراضى الحامضية تتأثر هذه الخاصية بكمية أكاسيد كل من الحديد والألومنيوم المتأدرتة، بينما فى الأراضى القاعدية والجيرية تتوقف على كمية الكالسيوم المتبادلة وكمية وحجم حبيبات كربونات الكالسيوم. ويعتبر قوام التربة (محتوى التربة من الطين) هو المؤثر الرئيسى على قدرة الأرض على ادمصاص الفوسفور، ويوضح جدول (٥–٣) تأثير قوام التربة على تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى والناتج من التسميد الفوسفاتى لكل من الأراضى القاعدية والحامضية. يمكن ترتيب قيمة السعة الادمصاصية للأراضى مختلفة القوام كما يلى :

الأراضى الرملية < الطميية الرملية < الطميية الطينية السلتية.

جدول (٥-٣) : تأثير قوام الأراضي الحامضية الجيرية على الاحتياجات السمادية الفوسفاتية وفوسفور المحلول الأرضي

صفات الأرض	قوام الأرض	الفسفور المضاف (ppm)	فوسفور المحلول الأرضى (ppm) قبل التسميد	فوسفور المحلول الأرضى (ppm) بعد التسميد
أراضي جيرية	طينية	٣٥	٠,٠١٧	٠,٠٥٣
	طميية طينية سلتية	٣٥	٠,٠٣٤	٠,١٦١
	طميية رملية	٢٠	٠,٠٤٥	٠,٣٠٥
أراضي حامضية	طميية طينية سلتية	٢٠٠	٠,٠١	٠,٠٧
	طميية رملية	٧٥	٠,٠١	٠,٢٠

عن Khasawneh سنة ١٩٨٠.

ومن الجدول نجد أن إضافة كمية معينة من السماد الفوسفاتى لكل من الأراضى الحامضية أو القاعدية ينتج عنها زيادة كبيرة فى تركيز الفوسفور فى المحلول الأرضى للأراضى خشنة القوام بالمقارنة بالأراضى ناعمة القوام. وأيضاً نلاحظ أن الاحتياجات السمادية فى الأراضى الحامضية أعلى منها فى الأراضى القاعدية المتشابهة معها فى القوام، حيث أثبتت الدراسات أن الأراضى الحامضية تزيد فى قدرتها الادمصاصية للفوسفات عن الأراضى الجيرية بمقدار ٢,١٧ مرة لكل وحدة سطح ادمصاص.

ب - الحد الحرج للفوسفور فى المحلول الأرضى واللازم لنمو النبات

Critical Levels of Soil Solution P for Plant Growth

يختلف المستوى الحرج للفوسفور الصالح للنبات باختلاف طريقة استخلاص الفوسفور، اختلاف نوع التربة واختلاف المحصول، ويبين جدول (٥-٤) مستوى الفوسفور اللازم تواجده وبصورة صالحة فى محلول بعض الأراضى مختلفة القوام للحصول على أقصى نمو للنبات النامى فى تلك الأراضى. من الجدول يتضح أنه فى الأراضى خشنة القوام يلزم أن يكون تركيز الفوسفور أكثر من ثلاث أضعاف التركيز فى

الأراضى ناعمة القوام لنفس المحصول، وهذا يعنى زيادة الاحتياجات السمادية الفوسفاتية لمحصول معين فى الأراضى الخشنة القوام عنها فى الأراضى نامة القوام، ويرجع ذلك ربما لسببين: أولهما أن معدل الانتشار للفوسفور فى الأراضى الرملية قليل جداً بالمقارنة بالأراضى الطينية نظراً لأن الغشاء المائى الموجود حول الحبيبات فى الأراضى الرملية يكون متقطعًا والعكس فى الأراضى الطينية حيث يكون هذا الغشاء متصلاً، ولقد وجد أن المحتوى الرطوبى تحت ضغط جوى قدره ١٥ بار (نقطة الذبول) يكون موجوداً حول الحبيبات فى الأراضى الطينية وبصورة متصلة. بينما السبب الثانى يرجع إلى أن السعة التنظيمية للفوسفور The buffering capacity P فى الأراضى الرملية أقل منها فى الأراضى الطينية، وعلى هذا يكون تعويض النقص فى تركيز الفوسفور بالمحلول الأرضى والناتج من امتصاص النبات له بطيئًا جداً، مما يلزم المحافظة على تركيز مرتفع من الفوسفور الميسر فى الأراضى الرملية دائمًا حتى نضمن وجود الكمية الكافية أثناء النمو.

جدول (٥-٤): المستويات الحرجة من الفوسفور الميسر اللازم لنمو بعض المحاصيل

المنطقـــة	المحصول	محلول الاستخلاص	المستوى الحرج (ppm)
غرب الولايات المتحدة			
أرض طينية	شعير	المـــاء	٠,١
طميية طينية سلتية			٠,١٦
طميية رملية			٠,٣٥
كاليفورنيا	حبوب صغيرة	المـــاء	٠,٤٠
جنوب شرق أمريكا			
طميية طينية سلتية	الدخان	0.01 M $CaCl_2$	٠,٠٧
طميية			٠,٢٠
طميية رملية			٠,٦٨
هاواى	الذرة	0.01 M $CaCl_2$	٠,٠٦
	البطاطا		٠,١٠
	الخس		٠,٤٠

عن Khasaweneh وآخرون سنة ١٩٨٠.

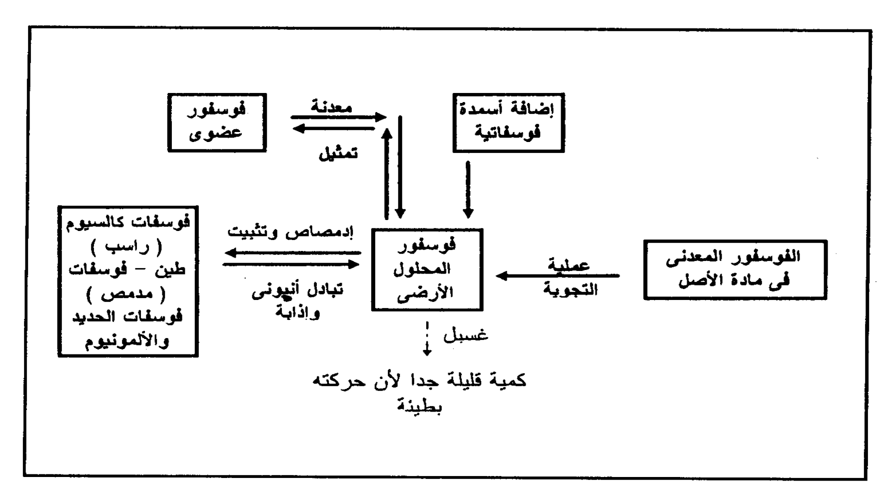
عادة ما يتم استخلاص الفوسفور من الأراضى القاعدية ومنها الأراضى المصرية باستخدام طريقة أولسن Olsen، وتم تحديد المستويات الحرجة للفوسفور الصالح بهذه الطريقة تبعًا لاحتياجات المحاصيل المختلفة (جدول ٥-٥) كما ذكرها أبو الروس وآخرون سنة ١٩٩٢.

جدول (٥-٥): المستويات الحرجة للفوسفور الصالح بطريقة ولسن لبعض المحاصيل بالجزء في المليون

مجموعات المحاصيل	مستوى الفوسفور الصالح منخفض	مستوى الفوسفور الصالح متوسط	مستوى الفوسفور الصالح مرتفع
المحاصيل ذات الاحتياجات المنخفضة وتشمل: المراعى - الحبوب الصغيرة - فول الصويا - الذرة	أقل من ٤	من ٥ - ٧	أكثر من ٨
المحاصيل ذات الاحتياجات المتوسطة وتشمل: القطن- البرسيم الحجازى - الطماطم	أقل من ٧	من ٨ - ١٣	أكثر من ١٤
المحاصيل ذات الاحتياجات المرتفعة وتشمل: بنجر السكر - البطاطس - البصل	أقل من ١١	من ١١ - ٢٠	أكثر من ٢١

دورة الفوسفور فى الأرض Phosphorus cycle in Soil

إن المحافظة على تركيز ملائم من الفوسفور الذائب فى المحلول الأرضى يعتمد على عوامل عديدة منها سرعة تجوية المعادن الحاملة له، سرعة تكوين وتحلل المادة العضوية، إضافة الأسمدة الفوسفاتية وعلى قابلية الجزء المعدنى من التربة على التفاعل أو تثبيت الفوسفور االمعدنى لذائب فى صورة غير ذائيبة أو قليلة الذوبان، ويمكن تمثيل ذلك فيما يعرف بدورة الفوسفور (شكل ٥ - ٢).



شكل (٥-٢) : العمليات الأساسية في دورة الفوسفور في الأرض

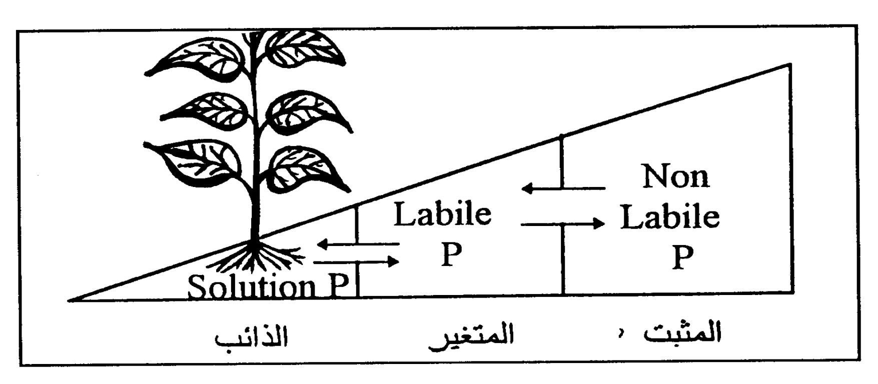
ثانيًا : الفوسفور القابل للإحلال أو التغير Phosphate in the Labile Pool

يعرف Larsen هذه الصورة من الفوسفور بأنها الجزء من الفوسفور الأرضى الذى يمكن أن يتحول إلى المحلول الأرضى نتيجة التبادل مع الفوسفور المشع p^{32} فى فترة زمنية محددة، علمًا بأن التبادل النظيرى (النظير المشع للعنصر) يمكن أن يشمل جميع الفوسفور الأرضى فى الصورة الصلبة إذا امتد الزمن إلى فترة طويلة، ولذا يجب تحديد الفترة الزمنية.

وتشمل هذه الصورة كل من الفوسفور المدمص على اسطح الغرويات الأرضية أو المترسب حديثًا فى صورة مركبات فوسفات الكالسيوم أو الحديد أو الألومنيوم والتى لها قدرة أكبر على الإذابة بالمقارنة بالمركبات قليلة الذوبان مثل: مجموعة الأباتايت. وتختلف هذه الكمية من أرض إلى أخرى حسب توفر العوامل المؤثرة فى قدرة الأرض الادمصاصية منها على سبيل المثال (محتوى الأرض من الغرويات الأرضية والتى تحمل مواقع تبادل ذات شحنة كهربائية موجبة كما فى أكاسيد الحديد والألومنيوم المتأدرتة

وأنواع معينة من معادن الطين وغيرها) . والجدير بالذكر بأن هذه الصورة مرتبطة مع الصور الأخرى للفوسفور بحالة من الاتزان الكيميائي والشكل (٥-٣) يوضح ذلك .

ومن الشكل نجد أنه قد يحدث أن تتحول صورة الفوسفور الأيونية والذائبة في المحلول الأرضى إلى الصورة غير المستقرة وذلك نتيجة ترسيب الفوسفور بتفاعله مع الكالسيوم أو الحديد والألومنيوم الذائبة فى المحلول الأرضى وتكون مركبات مترسبة حديثًا . أو قد يحدث ادمصاص لهذه الأيونات على سطح الغرويات الأرضية . فى نفس



شكل (٥-٣) : صور الفوسفور في التربة وحالة الاتزان بينهم

الوقت قد ينطلق الفوسفور الموجود فى هذه الصورة خلال عملية التحرر (عكس الادمصاص Desorption) نتيجة التبادل الأنيونى، أو حدوث إذابة لبعض المركبات المترسبة حديثًا . ويلعب الفوسفور الموجود فى هذه الصورة دورًا كبيرًا فى تغذية النبات، حيث يعتبر المستودع الذى يمد المحلول الأرضى باستمرار وبشكل تدريجى بعد نفاذ محتواه نتيجة عملية الامتصاص بواسطة النبات . أيضًا يجب ذكر أن قدرة الفوسفور على البقاء فى هذه الصورة يحددها الفترة الزمنية وصفات الأرض الفيزوكيميائية والظروف البيئية المحيطة . وعمومًا تتحول الصور المختلفة مع الزمن وبصورة تدريجية إلى صور أخرى أقل ذوبانًا تقع ضمن الصورة الثابتة أو المستقرة .

ثالثًا : الفوسفور غير القابل للحركة Non-Labile-phosphours

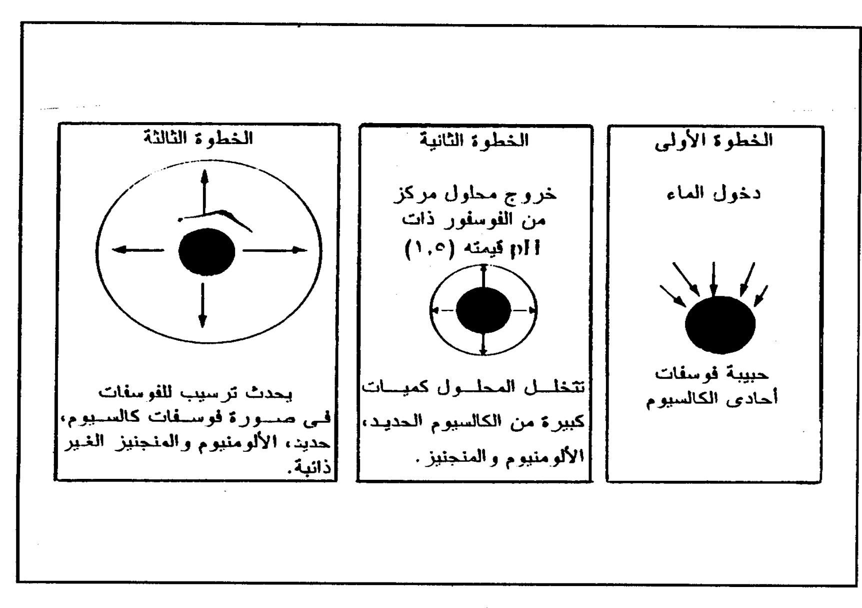
تشمل هذه الصورة المركبات الفوسفاتية قليلة الذوبان والتى ينطلق منها الفوسفور إلى الصور الأخرى ببطء شديد، وتشمل مجموعة معادن الأباتايت، الفاريسيت Varis-cite والسترنجيت Strengite وأيضًا صور الفوسفور العضوى المختلفة والبطيئة التحلل. وعمومًا لا يمكن إهمال دور جميع هذه الصور مجتمعة فى تغذية النبات لوجودها فى حالة اتزان مستمر معًا على الرغم من أن الكمية المنطلقة من الصورة غير القابلة للحركة قليلة جدًا وذلك لاحتياجها إلى ظروف خاصة لإذابتها مثل توفر االكائنات الدقيقة المتخصصة فى إذابة الفوسفات من مركباته المعدنية أو المتخصصة فى معدنة الفوسفور العضوى.

تفاعلات الفوسفور فى الأراضى المختلفة:

عند إمرار محلول يحتوى على أحد الأسمدة الفوسفاتية الذائبة مثل فوسفات أحادى الكالسيوم $Ca(H_2Po_4)_2$ خلال عمود من التربة فإن المحلول أثناء مروره يفقد الفوسفور الموجود به جزئيًا أو كليًا. بالإضافة إلى ذلك وجد أن الاستخلاص المتكرر للتربة لهذا الجزء المفقود بالماء أو بالمحاليل الحمضية أو القلوية الضعيفة (المخففة) يؤدى إلى نزع جزء قليل فقط من الفوسفور (المفقود). وهذا النقص فى ذوبان الفوسفات المضاف يعرف بحجز الفوسفات Phosphate retention أو Phosphate adsorption (ويشير هذا الجزء من الفوسفور المحجوز أو المدمص إلى الفوسفور الذى يجذب إلى أسطح معادن الطين والذى يمكن أن يستخلص بواسطة الأحماض أو القلويات الضعيفة ويعتبر هذا الجزء ميسرًا بدرجة كبيرة بالنسبة للنبات). بينما الفوسفور المثبت Phosphorus Fixation (يشير إلى الجزء من الفوسفور قليل الذوبان والذى لا يمكن استخلاصه بواسطة الأحماض أو القلويات المخففة.، ولا يعتبر سريع فى درجة تيسره للنبات) ويرجع حجز أو تثبيت الفوسفات إلى تحول فوسفات الكالسيوم الأحادية الذائبة إلى فوسفات غير ذائبة نتيجة تفاعلها مع الكالسيوم فى الأراضى القاعدية أو مع الحديد والألومنيوم فى الأراضى الحامضية.

ويمكن توضيح الميكانيكية التى بها يصبح الفوسفور غير ذائب كما يلى: عند إضافة حبيبات سماد السوبر فوسفات إلى التربة فإن بخار الماء الموجود بالوسط المحيط

للحبيبة يتحرك ويدخل بسرعة إلى داخل الحبيبة مما يؤدى إلى ذوبان المادة الرئيسية للسماد وهى فوسفات الكالسيوم الاحادية، ويتكون محلول داخل الحبيبة يكون مشبعًا بكميات مرتفعة من فوسفات الكالسيوم الاحادية والثنائية بالإضافة إلى حمض الأورثوفوسفوريك، ويكون رقم pH هذا المحلول فى مدى ١-١,٥ أى شديد الحموضة. وعند انطلاق هذا المحلول إلى الوسط المحيط بالحبيبة يؤدى إلى إذابة مكونات حبيبات التربة الملاصقة له. وفى الأراضى القاعدية غالبًا ما يسود الكالسيوم والماغنسيوم بها وخاصة فى الأراضى الجيرية، وعلى ذلك يتفاعل هذا المحلول مع الكالسيوم ويتكون مركبات صعبة الذوبان، فى حين يكون التفاعل مع الحديد والألومنيوم فى الأراضى الحامضية. إن ميكانيكية التفاعلات التى يصبح بها الفوسفور غير ميسر للنبات تحت ظروف الأراضى المختلفة يوضحها شكل (٥-٤) عن White سنة ١٩٨٧.



شكل (٥ - ٤) يوضح الخطوات المتتالية لذوبان حبيبة فوسفات أحادي الكالسيوم

أولاً: التفاعلات فى الأراضى القاعدية

١ – تفاعلات الترسيب:

كما سبق ذكره فإن بارتفاع رقم pH الأرض تزداد أيونات الفوسفات الثنائية والثلاثية، وكما هو معروف بأن درجة الذوبان تقل حسب الترتيب التالى:

$$PO^{3-}_4 < HPO^{2-}_4 < H_2PO_4^-$$

وفى معظم الأراضى القاعدية يكون للكالسيوم فاعلية كبيرة، وبالتالى تتعرض الفوسفات المضافة إلى سلسلة من التفاعلات مع أيون الكالسيوم الذائب فى المحلول الأراضى أو المتبادل على أسطح معادن الطين مكونًا مجموعة من المركبات الفوسفاتية المتفاوتة فى درجة ذوبانها. وبزيادة تركيز الكالسيوم وثبات تركيز الفوسفات يتم التثبيت بسرعة وذلك بالوصول إلى نهاية سلسلة التفاعل كما يلى:

$$Ca(H_2PO_4)_2 + Ca_2+ \Rightarrow 2CaHPO_4 + 2H+$$

Mono-Ca-phosphate   Di-Ca-phosphate

$$3CaHPO_4 + Ca^{2+} \Rightarrow Ca_4H(PO_4)_3 + H^+$$ Octa-Ca-phosphate

$$Ca_4H(PO_4)_3 + Ca^{2+} + H_2O \Rightarrow Ca_5(PO_4)_3OH + 2H^+$$ Hydroxy apatite

ومعنى ذلك جزء كبير من الفوسفور المضاف سوف يصبح فى صورة غير ميسرة بالنسبة للنبات وذلك لتحوله إلى إحدى صور الفوسفور غير القابل للحركة Non-Labile-Phosphorus، وهذا التفاعل يحدث أيضًا فى الأراضى الجيرية.

٢ – الترسيب السطحى على حبيبات كربونات الكالسيوم:

فى الأراضى القاعدية المحتوية على كربونات الكالسيوم توجد ميكانيكية أخرى مسئولة عن تقليل صلاحية الفوسفور، فعند تلامس أسطح حبيبات كربونات الكالسيوم مع أيونات الفوسفات الذائبة وخاصة عند التركيزات المنخفضة يحدث ادمصاص Adsorption لهذه الأيونات على هذه الأسطح فى طبقة سمكها جزىء واحد من الفوسفات من خلال إحلال أيون الفوسفات $H_2PO_4^-$ محل أيون الكربونات CO_3^{2-}. ومع زيادة تركيز الفوسفات المضافة إلى الأرض، وبمرور الزمن تتفاعل كربونات الكالسيوم أو

الماغنسيوم، وبغض النظر عن طبيعة التفاعلات التى تحدث فإن الناتج النهائى يتكون فوسفات الكالسيوم فى صورة راسب صعب الذوبان، وثانى أكسيد الكربون أو الأيدروكسيل.

٣- الطين المُشبع بالكالسيوم:

يُعتبر الطين المُشبع بالكالسيوم مسئولاً عن ميكانيكية ثالثة لتثبيت الفوسفات بالأرضى القاعدية، وأيضاً فى الأراضى ذات pH حامضى ضعيف (٦,٥)، حيث يقوم الكالسيوم المتبادل بعمل قنطرة تربط بين أيون الفوسفات وسطح الطين، ويمكن تمثيل هذه الرابطة كما يلى:

$$Clay\text{-}Ca\text{-}H_2PO_4$$

ومن الطبيعى أن نتوقع أنه كلما زادت كمية الطين ذات السعة التبادلية الكاتيونية C.E.C المرتفعة مثل معادن من نوع ٢ : ١ ازدادت كمية الفوسفات المثبتة بهذه الطريقة.

ومن السابق نجد أن نشاط الفوسفور فى المحلول الأرضى فى الأراضى القاعدية ومنها الأراضى المصرية يكون متوقفاً على ثلاثة عوامل أساسية وهى:

أ - نشاط أيون الكالسيوم Ca^{2+}.

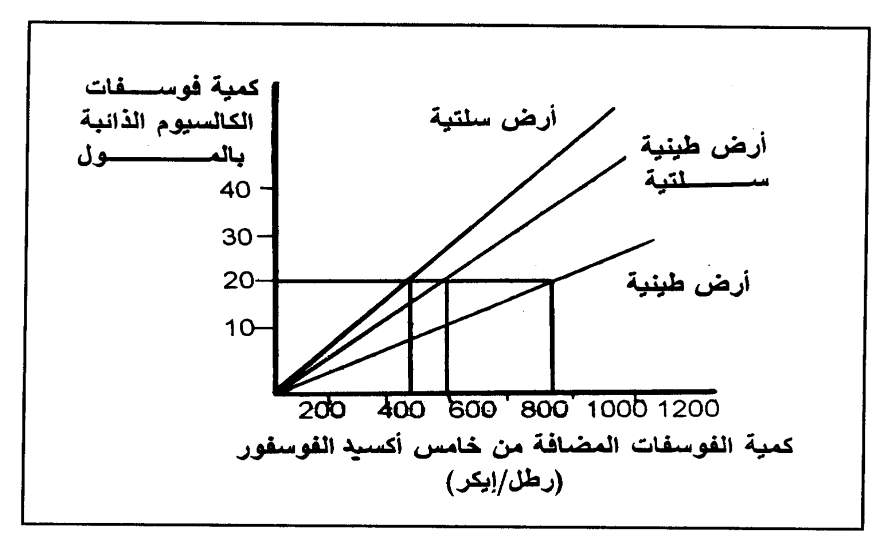
ب- كمية وحجم حبيبات كربونات الكالسيوم الحرة فى الأرض الزراعية.

جـ- كمية ونوع الطين الموجود.

حيث يقل نشاط (تيسر) الفوسفور فى الأراضى ذات نشاط الكالسيوم المرتفع، والمحتوى العالى من كربونات الكالسيوم ناعمة القوام، وكمية كبيرة من الطين المشبع بالكالسيوم. ولهذا يجب إضافة كمية أكبر من الأسمدة الفوسفاتية لمثل هذه الأراضى للحصول على مستوى ملائم من الفوسفور المُيسر فى المحلول الأرضى. ويوضح ذلك إحدى الدراسات بولاية كولورادو بالولايات المتحدة الأمريكية على تأثير كمية الطين (قوام الأرض)، وكمية السوبر فوسفات المضافة على كمية الفوسفور النشط (المُيسر) فى المحلول الأرضى Tisdzle & Nelson سنة ١٩٨٧ (شكل ٥-٥).

من شكل (٥-٥) يمكن إيضاح نقطتين: الأولى أن كمية الفوسفور الذائبة فى

المحلول الأرضى فى الأراضى المختلفة القوام تحت الدراسة تزداد مع زيادة كمية الفوسفات المضافة، والثانية هى لكى يتم الحصول على كمية معينة من الفوسفور النشط (الذائب) فى المحلول الأرضى يلزم إضافة كمية أكبر من السوبر فوسفات فى الأراضى ناعمة القوام عما يلزم إضافته للأرض خشنة القوام للوصول إلى نفس المستوى من النشاط.



شكل (٥-٥): يبين تأثير قوام التربة الزراعية علي تيسر الفوسفور المضاف إليها

٤ - التفاعل مع الأكاسيد السداسية المتأدرتة:

نتيجة للسلوك الأمفوتيرى Amphoteric behavior للأكاسيد السداسية فإن أسطحها تحمل صافى شحنة كهربائية قد تكون سالبة أو متعادلة أو موجبة. وعلى هذا فإن أيونات الفوسفات الموجودة فى المحلول الأرض تدخل فى تفاعلات تبادل أنيونى مع مجموعات الأيدروكسيل الموجودة على أسطح حبيبات هذه الأكاسيد. ويوجد ثلاثة تفاعلات لأكاسيد الحديد المتأدرت والتى تحدث عند قيم من الـ pH أعلى أو أقل أو عند نقطة التعادل الكهربائية لهذا المركب Zero-point of charge (ZPC) يمكن إيضاحها كما يلى:

أ - عند نقطة أعلى من نقطة التعادل الكهربية (صافى الشحنة سالب)

ب - عند نقطة التعادل الكهربى (صافى الشحنة صفر)

جـ - عند نقطة أسفل من نقط التعادل الكهربى (صافى الشحنة موجب)

من الخطوات السابقة نجد أنه عند نقطة التعادل الكهربية لأكاسيد الحديد المتأدرتة يحدث إحلال لمجموعة الهيدروكسيل بواسطة مجموعة فوسفات أحادية ، ونفس الشيء يحدث عند ارتفاع رقم الـ pH وتصبح شحنة المركب سالبة . أما عند انخفاض رقم الـ pH تصبح شحنة المركب موجبة، ويحدث إحلال لجزيء الماء بواسطة مجموعة الفوسفات الأحادية .

ثانياً : تفاعلات الفوسفات فى الأراضى الحامضية

١ - التثبيت بواسطة الحديد والألومنيوم :

يعتبر تثبيت الفوسفات فى الأراضى الحامضية نتيجة مجموعة تفاعلات مختلفة إلى حد كبير عن تلك الحادثة فى الأراضى القاعدية . حيث يكون غالبة احتجاز الفوسفور أو تثبيته نتيجة تفاعله مع الحديد والألومنيوم، ففى هذه الأراضى تحتوى أسطح التبادل للغرويات الأرضية المعدنية على كميات كبيرة من الألومنيوم، وكميات أقل من الحديد والمنجنيز المتبادل . فعند إضافة الأسمدة الفوسفاتية لهذه الأراضى يحدث ترسيب للفوسفات فى صورة فوسفات الألومنيوم أو الحديد ، ويتم ذلك بأن يقوم أيون الكالسيوم الموجود فى تركيب السماد بالتبادل مع أيون الألومنيوم وينطلق الأخير إلى المحلول الأرضى، ثم يحدث له تحلل مائى ويتكون أيدروكسيل العنصر وأخيراً يتحد أيدروكسيل الألومنيوم مع الفوسفات ويحدث ترسيب للفوسفات كما توضح المعادلات الآتية :

أ - التبادل الكاتيونى **Caion Exchange** :

$$\text{سطح حبيبة الطين}\left]\begin{matrix} Al^{3+} \\ +\ 3Ca^{2+} \\ Al^{3+} \end{matrix}\right. \Leftrightarrow \text{سطح حبيبة الطين}\left]\begin{matrix} Ca^{2+} \\ Ca^{2+} \\ Ca^{2+} \end{matrix}\right. + Al^{3}$$

ب - التأدرت **Hydrolysis** :

$$Al^{3+} + 2H\ O \Leftrightarrow Al(OH)_2^{\ +} + 2H^{+}$$

جـ - الترسيب : **Precipitation** :

$$Al(OH)_2^{\ +} + H_2PO_4^{\ -} \leftrightarrows Al(OH)_2H_2PO_4$$

Variscite

وبنفس الكيفية يحدث ترسيب للفوسفات بواسطة الحديد كما فى المعادلة التالية :

$$Fe^{3+} + H_2PO_4^{\ -} + 2H_2O \leftrightarrows Fe(OH)_2HPO_4 + 2H$$

Stringite

وهكذا نجد أن واحد مول من الألومنيوم المتبادل والذى حدث له تحلل مائى يرسب واحد مول من أيونات الأورثوفوسفات . وليس من المنتظر أو المحتمل حدوث تحلل مائى لكل الألومنيوم المتبادل تحت الظروف الحقلية، وبالتالى من المتوقع أن يكون إسهام هذه الميكانيكية فى تثبيت الفوسفات تكون أقل عن ما يشير إليه هذا التفاعل .

٢ - الادمصاص الأيونى بواسطة الأكاسيد :

وهنا تتفاعل الفوسفات مع مركبات الحديد والألومنيوم وتتكون معقدات مختلفة. وقد يكون التفاعل مباشراً مكوناً راسب لمكونات الحديد أو الألومنيوم كما سبق ذكره فى

شكل (٥-٦) : يبين خطوات ادمصاص الفوسفات علي أسطح أكاسيد الحديد

الخطوة السابقة. أو يحدث ادمصاص للفوسفات على أسطح تلك الأكاسيد، وتنطلق جزيئات الماء ومجموعات الأيدروكسيل، شكل (٥-٦) يصف هذا التفاعل.

ويمكن أن يحدث ادمصاص للأنيونات على الأسطح التى تحمل شحنة موجبة وتزداد هذه الحالة تحت ظروف الأراضى الحامضية حيث يحدث جذب للأيدروجين على مجموعة الأيدروكسيل الخارجية ، وفى النهاية يكون صافى الشحنة موجب مما يؤدى إلى إدمصاص الأنيونات (An) عن طريق خاصية الجذب بالقوة الإلكتروستاتيكية كما يمثلها التفاعل التالى :

$$Me-OH + H^+ \longrightarrow \left[Me-O \begin{matrix} H \\ H \end{matrix} \right]^+$$

$$\left[Me-O \begin{matrix} H \\ H \end{matrix} \right]^+ + An \longrightarrow \left[Me-O \begin{matrix} H \\ H \end{matrix} \right]^+ An$$

٣ – **التثبيت بواسطة الطين المُشبع بالكالسيوم :**

ويحدث ذلك فى الأراضى ذات pH ٦,٥ أو أقل وذلك عن طريق أيون الكالسيوم المتبادل على أسطح معادن الطين، حيث يعمل أيون الكالسيوم كقنطرة بين أيون الفوسفات وسطح الطين.

ومما سبق نجد أن الفوسفور المضاف إلى الأراضى القاعدية أو الأراضى الحامضية يتعرض إلى التثبيت بطرق مختلفة . ويمكن اعتبار الفوسفور المدمص ضمن صورة الفوسفور القابل للحركة **Labile Phosphorus** أى يكون له إمكانية التحرر أو الانطلاق **Desorption** ليكون مُيسراً للنبات. وعملية التحرر هذه تتم بواسطة إحلال أيون مُعين سالب الشحنة له قدرة الادمصاص النوعى مثل : أيون البيكربونات أو الفلوريد محل أنيون الفوسفات المدمص. وقد يتكون أيون البيكربونات فى المحلول الارضى أثناء انطلاق ثانى أوكسيد الكربون من عملية التنفس للجذور والكائنات الدقيقة وذوبانه فى الماء

مكوناً حمض الكربونيك الذى سرعان ما يتأين إلى بيكربونات وأيدروجين حسب المعادلة التالية :

$$CO_2 + H_2O \Leftrightarrow + H_2CO_3 \Leftrightarrow HCO^-_3 + H^+$$

وهناك بعض الأيونات السالبة الشحنة الأخرى التى يمكن أن تحل محل الفوسفات مثل الأيدروكسيل والسليكات وبعض الأيونات العضوية مثل السترات و الطرطرات والهيومات، وغيرها والتى تساهم فى تحرر الفوسفات المدمصة أو تنافس أيون الفوسفات المضاف على صورة سماد فى الادمصاص على الأسطح الموجبة الشحنة للغرويات الأرضية مما يزيد من تيسر الفوسفور فى المحلول الأرضى. ولقد أوضحت الدراسات التى قام بها El -Beshbeshy وآخرون خلال الفترة من ١٩٩٠ إلى ١٩٩٤ بأن هناك تأثيراً إيجابياً لأنيونات السليكات على تيسر الفوسفور الأصلى Native phosphorus بالتربة وذلك من خلال عدة تجارب معملية وحقلية وأيضاً فى البيوت الزجاجية. ففى تجربة تحضين Incubation لعينات تربة طينية رسوبية من أرض الوادى، وعينة تربة من أراضى جيرية حديثة الاستصلاح مع مركبات السليكات (سليكات الكالسيوم وهو منتج ثانوى من مصانع الحديد والصلب بحلوان والذى يعرف بإسم جلخ الأفران العالية المحبب والمبرد مائى ويتركب من أكسيد حديديوز ٠,٧ – ١,٢ ٪، أكسيد سليكون ٣٠ – ٣٥٪، أكسيد كالسيوم ٣٤ – ٣٨٪، أكسيد ماغنسيوم ٢ – ٥٪، أكسيد ألمونيوم ١١ – ١٤٪ ، أكسيد بوتاسيوم ٠,٢ – ٠,٥٪، وأكسيد باريوم ٤,٠ – ٩,٠٪) أوضحت النتائج زيادة كمية الفوسفات الميسرة والمستخلصة من تلك التربة والمعاملة بسليكات الكالسيوم، وفى تجربة فى الصوبة لدراسة تأثير سليكات الكالسيوم والكبريت وزرق الدواجن على تيسر الفوسفور بالتربة وكفاءة استخدام السوبر فوسفات أوضحت النتائج التى حصل عليها El -Beshbeshy وآخرون سنة ١٩٩٣ بأن هناك استجابة واضحة بالنسبة للفوسفور الممتص بواسطة نباتات الذرة وخاصة عند الإضافة مع السوبر فوسفات، وفى تجارب حقلية فى أراضى الوادى أدى استخدام هذه المركبات إلى زيادة كمية الفوسفور الممتص بواسطة نباتات الذرة Zanouny وآخرون سنة ١٩٩٤، وأيضاً بواسطة نباتات الشعير المنزرع فى أراضى حديثة الاستصلاح فى محافظة المنيا وأيضاً زيادة كفاءة استخدام الأسمدة الفوسفاتية El -Beshbeshy سنة ١٩٩٤، وربما يُعزى

ذلك لحدوث تنافس بين كل من أيونات السليكات والفوسفات على مواقع التبادل على سطح الغرويات الأرضية .

العوامل المؤثرة على احتفاظ التربة الزراعية بالفوسفور :

بصفة عامة توجد عدة عوامل تؤثر على مدى صلاحية الفوسفور بالنسبة للنبات ، وهذه العوامل مشتركة فى جميع أنواع الأراضى، وسوف نتناولها بشىء من التفصيل فيما يلى :

١ - **كمية الطين فى الأرض** : بزيادة نسبة الطين فى الأرض تزداد الكمية المثبتة من الفوسفور ويرجع ذلك إلى زيادة السطح النوعى لحبيبات الطين.

٢ - **نوع معدن الطين** : تبين من العديد من الأبحاث بأن الأراضى الغنية فى معادن الطين من نوع ١ : ١ مثل الكاؤولينيت تكون قدرتها على تثبيت الفوسفور مرتفعة عن الأراضى الغنية في معادن من نوع ٢ : ١ . ويرجع ذلك إلى أن عدد أكبر من مجموعات الأيدروكسيل المرتبطة مع ذرة الألومنيوم فى طبقة الأوكتاهيدرا تكون مكشوفة فى معادن من نوع ١ : ١ ولقد وصف عواد ١٩٨٧ سنة طبيعة التفاعل كما يلى :

أ - قد يحدث إحلال متماثل للفوسفات فى طبقة التتراهيدرا محل أيون السليكات إذ لوحظ فى بعض الدراسات أن كمية السيليكات فى معلق التربة تزداد بزيادة كمية الفوسفات المضافة. وغالباً ما يتم هذا الإحلال فى معان الطين من نوع ١ : ١ ولا يُعتبر هذا التفاعل تفاعل ادمصاص حيث يتم تثبيت الفوسفور داخل المعدن ، وبالتالى يصبح غير مُيسر بالنسبة للنبات .

ب - قد يحدث تبادل أنيونى بين مجموعة الفوسفات ومجموعة الأيدروكسيل الموجودة فى الهيكل البنائى لمعدن الطين. هذا بالإضافة إلى أن مثل هذا التفاعل يساعد على زيادة عدد مجاميع الأيدروكسيل المرتبطة بالمعدن مما يؤدى إلى زيادة السعة التبادلية الكاتيونية وخاصة عندما يرتفع رقم الـ pH للأرض عن ٧ كما توضحها المعادلات الآتية.

$$\text{Clay}\begin{bmatrix}-OH\\-OH\\-OH\end{bmatrix} + H_2PO_4^- \rightleftharpoons \text{Clay}\begin{bmatrix}-O-P(=O)(OH)_2\\-OH\\-OH\end{bmatrix} + OH$$

$$\text{Clay}\begin{bmatrix}-O\\-O\\-O\end{bmatrix}\!>P=O + OH + H_2O \qquad \text{Clay}\begin{bmatrix}-O\\-O\\-OH\end{bmatrix}\!>P(=O)OH + H_2O$$

بينما الأراضى الغنيـة فى مـعـادن الطين من نوع ٢ : ١ ، ونظراً لأن السـعـة التـبـادلـيـة الكاتيونية لها مرتفعة فتكون كمية الكالسيوم المتبادلة كبيرة وبالتالى يحدث التثبيت أو الاحتفاظ بواسطة أيون الكالسيوم (فوسفات – كالسيوم – طين) .

٣ – **مـدة التفـاعل** : كلمـا زاد زمن التـلامس بين أيونات الفـوسـفـات ومكونات التـربة الزراعية كلما زاد معدل التثبيت، وهذا الزمن يختلف من أرض إلى أخرى. وتُعتبر المدة التى يتمكن فيها النبات من الاستفادة القصوى من السماد الفوسفاتى المضاف مهـمـة من الناحيـة العـمليـة . ففى الأراضى ذات القدرة العالية على التثبيت تكون هذه المدة قصيرة، بينما فى أراضى أُخرى قد تطول الفترة لمدة شهر أو أكثر. وهنا ترجع أهمية ما إذا كان السماد يضاف على دفعة واحدة أو على عدة دفعات خلال الدورة الزراعية، كذلك تحديد طريقة الإضافة.

٤ – **رقم الـ pH للتربة الزراعية** : يُعتبر رقم pH التربة من العوامل العالية التأثير على تحديد درجـة صـلاحـيـة الفـوسـفـور للنبـات، كـمـا سـبق ذكـر أن الصـورة الأيونيـة للفوسفات والتي تكون مفضلة للامتصاص من قبل النبات هى $H_2PO_4^-$ بالمقارنة بالصور الأيونية الأخرى، وذُكر أن تركيز هذه الصورة يقل بارتفاع وانخفاض رقم الـ pH وذلك حسب طريقة التثبيت وتكون أعلى درجة صلاحية للفوسفات فى مدى

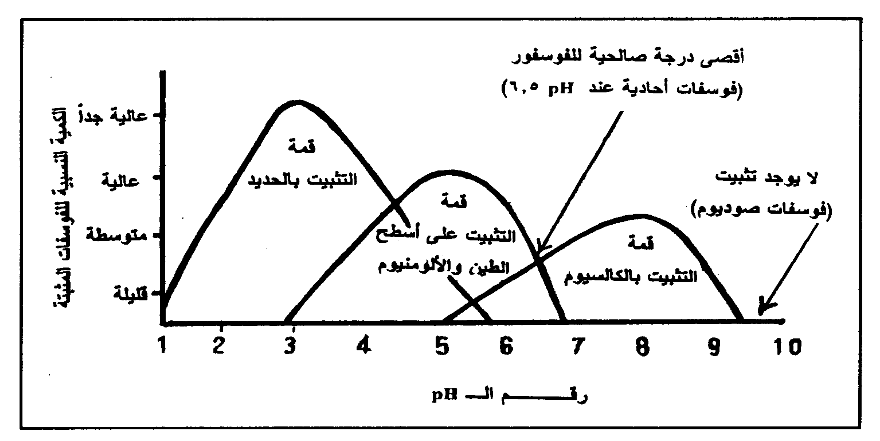
pH من ٦-٧ . والشكل (٥-٧) يبين تأثير رقم الـ pH على كمية وميكانيكية تثبيت الفوسفات .

٥ - **المادة العضوية** : من المعروف بأن الأسمدة العضوية عند إضافتها إلي الأراضى الزراعية تؤدى إلى زيادة خصوبة تلك الأراضى ، سواء كان نتيجة لما تحويه من عناصر ، أو بطريقة غير مباشرة عن طريق زيادة ذوبان بعض العناصر، وجعلها فى صورة ميسرة للنبات ومن تلك العناصر الفوسفور .

ويرجع ذلك إلي عدة أسباب وهى :

أ - انطلاق غاز ثانى أكسيد الكربون أثناء عملية تحليل وأكسدة المادة العضوية وأيضاً نتيجة للنشاط الميكروبى المصاحب لوجود المادة العضوية يعمل على خفض رقم الـ pH للأرض مما يزيد من ذوبان المركبات الفوسفاتية .

ب - تقوم الغرويات العضوية بتغليف الأكاسيد السداسية المتأدرتة، وبالتالى تمنع أو تقلل من اتحادها مع الفوسفات .



شكل (٥-٧) : يوضح العلاقة بين رقم الـ pH وميكانيكية تثبيت الفوسفات

جـ - وجود بعض الأيونات العضوية السالبة الشحنة والناتجة من تحلل المادة العضوية مثل الهيومات Humate، السترات Citrate ، الطرطرات Tartrate، والأوكسلات Oxalate فى المحلول الأرضى يمكن أن تتحد مع الحديد والألومنيوم، أو يمكن أن تتبادل مع أنيونات الفوسفات المدمص، أو تتنافس مع أيونات الفوسفات المضافة وبالتالى تزيد من الفوسفور الميسر للنبات.

د - تعتبر المادة العضوية مصدراً هاماً للفوسفور العضوى والذى يمتاز بقلة تثبيته بالمقارنة بالفوسفور المعدنى، وبفعل الكائنات الأرضية الدقيقة يحدث عملية معدنة لهذا الفوسفور، ويُصبح فى صورة ميسرة للنبات.

هـ - مع تقدم تحلل المادة العضوية ينتج الدبال، وهذا المركب يمكن أن يتحد مع الفوسفات ويتكون معقد الدبال والفوسفات، وهذه المركبات يمكن أن يستفيد منها النبات بسهولة . .

٦ - **درجة الحرارة** : كما هو معروف بأن سرعة التفاعلات الكيميائية تزيد بزيادة درجة الحرارة، وبالتالى وجد فى أراضى المناطق الحارة يكون تثبيت الفوسفور أكبر مما هو عليه فى أراضى المناطق المعتدلة ، وفى المناطق الاستوائية يكون التثبيت بفعل الأكاسيد السداسية المتأدرتة لزيادة محتوى هذه الأراضى من تلك المركبات.

٧ - **نسبة أكسيد السليكون إلى أكاسيد الحديد والألومنيوم $Si_2 : R_2O_3$ ratio**:

تؤثر هذه النسبة على ذوبان الفوسفات، ووجد أن هذه النسبة تقل فى الأراضى الحامضية (نتيجة لزيادة الحديد والألومنيوم) وفقد السيليكا بواسطة ماء المطر، وهذه النسبة تؤيد الرأى القائل بأن معادن الطين من نوع ١ : ١ قدرتها على تثبيت الفوسفات أكبر من معادن ٢ : ١ وذلك لانخفاض هذه النسبة في معادن ١ : ١ .

٨ - **التأثير الفسيولوجي للأسمدة الكيماوية**: كما هو معروف بان الأسمدة النشادرية ذات تأثير حامضى، وبالتالى تُخفض رقم pH الأرض مما يساعد فى ذوبان الفوسفات.

اختبارات فوسفور التربة

تهدف اختبارات التربة فى هذا المجال إلى محاولة تقدير كمية الفوسفور الميسر فى التربة والتي تكون مرتبطة بمدى استجابة المحاصيل لإضافة الفوسفور لهذه الأرض، وبتفسير نتائج تلك الاختبارات يمكن معرفة الأرض التي قد تستجيب لإضافة الفوسفور من عدمه. ويوجد عدد كبير من الطرق التي بواسطتها يمكن تقدير ما يعرف بالفوسفور الميسر، وجدول (٥–٦) يوضح أهم هذه الطرق والتى عن طريقها يمكن معرفة حالة الفوسفور فى الأراضى :

جدول (٥–٦) : مستويات خصوبة التربة للفوسفور تبعا لطريقة الاستخلاص

الطريقة	محلول الاستخلاص	قيم الفوسفور الميسر (ppm) مرتفع	متوسط	منخفض	الأرض الملائمة
أولسن Olsen	محلول بيكربونات صوديوم ٠,٥ ع عند pH ٨,٥	< ١٥	١٥ – ٥	٥ >	كل أنواع الأراضى وخاصة القاعدية
براى ٢ Bray 2	٠,٣ ع فلوريد أمونيوم + ٠,٠٢٥ ع حمض هيدروكلوريك	< ٥٠	٥٠ – ١٥	١٥ >	الأراضى الحامضية
نيلسون Nelson	حمض $H_2SO4 + HCL$ المخفف	< ٣٠	٣٠ – ١٠	١٠ >	بعض الأراضى الحامضية
تروج Troug	٠,٠٠٢ ع H_2SO_4 عند pH ٣	< ٤٠	٤٠ – ٢٠	٢٠ >	الأراضى الحامضية

عن Landon سنة ١٩٨٤.

وطبيعى يكون عند المستوى المرتفع من الفوسفور المستخلص لا يكون هناك استجابة لإضافة الفوسفور ، وتكون درجة الاستجابة متوسطة عند المستوى المتوسط، فى حين تكون الاستجابة عالية فى حالة المستوى المنخفض من الفوسفور المستخلص.

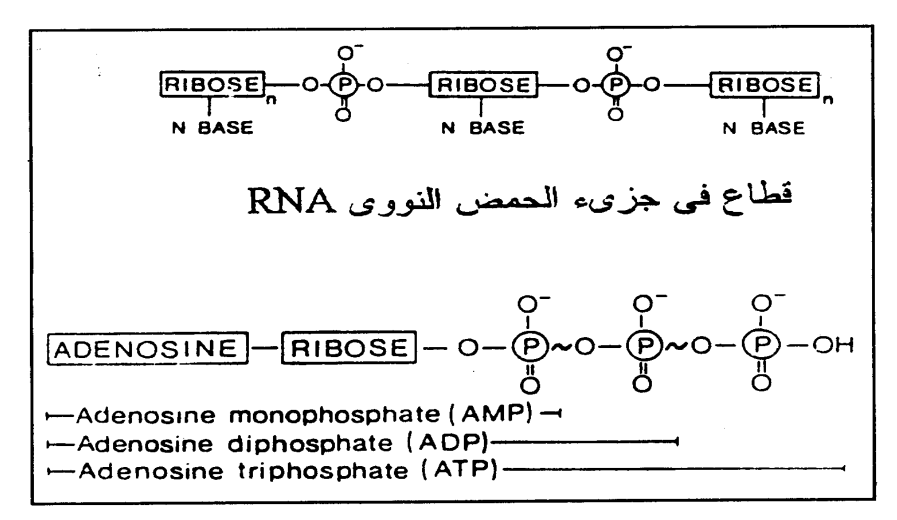
الفوسفور فى النبات Phosphorus in plant

تُعتبر الفوسفات الأحادية $H_2PO_4^-$ هى الصورة الأيونية المُفضلة للامتصاص من قبل النبات بالمقارنة بالصورة الثنائية HPO_4^{2-}. وعلى عكس النيروجين والكبريت لا تُختزل الفوسفات داخل الأنسجة النباتية، بل يدخل الفوسفور فى المركبات العضوية فى أعلى صور التأكسد، فهو عنصر أساسى فى تركيب الليبيدات المفسفرة والأحماض النووية، فإذا اتحدت الأحماض النووية مع البروتينات تكونت البروتينات النووية وهى مكونات هامة لأنوية الخلايا النباتية.

ويتركم الجزء الأكبر من فوسفور النباتات الناضجة فى البذور والثمار أثناء فترة تطورها، كذلك لوحظ وفرة الفوسفور فى الأنسجة المرستيمية للنباتات النامية حيث يستخدم فى تخليف البروتينات النووية والمركبات الفوسفورية الأخرى والتى يُستخدم البعض منها فى عمليات التنفس . ويبدو أن هناك ترابطاً بين دور كل من الفوسفور والنيتروجين فى عملية الأيض Metabolism بالنبات، فقد ظهر أن نقص الفوسفور المُيسر يؤدى إلى سرعة تراكم النيتروجين غير العضوى داخل النبات، ولكن مع توافر هذا العنصر بصورة ميسرة في المحلول الأرضى يقلل من امتصاص النيتروجين. وبالتالى فالتسميد الفوسفاتى بكثرة قد يغير التوازن النيتروجينى للنبات، ويؤدى إلى النضج المبكر للنباتات، فى حين يتأخر نضج النباتات التي تعانى من نقص الفوسفور. كذلك أوضحت الدراسات أنه لا يتم تخليق البروتينات قليلة الفوسفور ويلازم ذلك تراكم السكريات فى الأجزاء النباتية الخضراء مما يؤدى إلى ظهور اللون الأحمر الأرجوانى (قريب من البنفسجى) نتيجة زيادة معدل تخليق صبغة الأنثوسيانين فى الأوراق كما فى نباتات الذرة والطماطم وغيرهما من النباتات الأخرى. وقد ساهم استخدام الفوسفور المشع فى إثبات قدرة هذا العنصر على الحركة داخل النبات، حيث يعاد توزيع الفوسفور بين أعضائه المختلفة وهو على صورته الفوسفاتية، ففى حالة نقص الفوسفور الميسر فى التربة ينتقل هذا العنصر من الأوراق المسنة إلى الأوراق الحديثة، وبالتالى تظهر

أعراض نقصه على الأوراق المسنة. ويمكن إيجاز أهم الوظائف الحيوية للفوسفور فيما يلى :

١ – يُعتبر مكون أساسى للفوسفاتيدات، الأحماض النووية RNA, DNA، البروتينات، ومساعدات الإنزيم AMP,ADP & ATP (شكل ٥–٨).



شكل (٥–٨) : رسم تخطيطي يبين تركيب الحمض النووي RNA (لأعلي) ومساعدات الإنزيم ATP, ADP & AMP (لأسفل).

٢ – يدخل فى تركيب العديد من الأحماض الأمينية.

٣ – ضرورى لانقسام الخلايا، والكروموزمات Chromosomes، ونمو الجذور.

٤ – ضرورى لنمو القمة المريستيمية، البذور والثمار، وأيضاً لعملية التزهير.

ويوجد الفوسفور فى الأنسجة المرستيمية وينتقل بسهولة داخل النبات، وعلى ذلك فإنه يتحرك من الأنسجة المسنة إلى الأنسجة الحديثة فى حالة نقص الفوسفور الميسر بالتربة الزراعية (أى أن هذا العنصر مُتحرك داخل النبات).

أعراض نقص الفوسفور :

تختلف الأعراض حسب نوع النبات، ففى النباتات ذات الفلقة الواحدة يؤدى نقص الفوسفور إلى ظهور لون أحمر أو أرجوانى فى مناطق مختلفة من الورقة فى خلال مراحل النمو المختلفة. أما النباتات ذات الفلقتين فإن العروق الرئيسية للأوراق المسنة تأخذ لوناً أحمر أرجوانى. بينما تبقى الأوراق الحديثة بلون أخضر داكن أو أخضر رمادى، ويزداد الأرجوانى على عروق الأوراق وخاصةً على الناحية السفلية للأوراق وعلى السيقان. وكما سبق ذكر أن الفوسفور يتحرك بسهولة داخل النبات فإن الأعراض تظهر أولاً علي الأوراق المسنة، وذلك لتحرك الفوسفور من تلك الأوراق إلى الحديثة لسد احتياجاتها. ويمكن إيجاز هذه الأعراض فى النقاط التالية :

أ - ظهور المجموع الخضرى بلون أخضر داكن غالباً ما يتحول إلى اللون الأحمر أو الأرجوانى.

ب - فى بعض الأحيان تتحول الأوراق السفلية إلى اللون الأصفر، وتجف ثم تتحول إلي اللون البني المخضر.

جـ - تظهر ساق النباتات رفيعة وقصيرة وخاصة إذا نقص هذا العنصر فى المراحل المتأخرة من النمو. ويقل المجموع الجذرى.

د - ظهور الأعراض أولاً على النموات المسنة، وفى حالة النقص الشديد يتأخر النمو لما لهذا العنصر من تأثير على انقسام الخلايا فى القمم النامية. وفيما يلى أعراض نقص الفوسفور على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية :

القمح ، الشعير والأزر: يسود لون أخضر داكن على نصف النصل القاعدى، فى حين يتلون النصف الآخر باللون البرتقالى، يتحول إلى اللون الأحمر ثم البني. ويظهر نقص الفوسفور فى حالة عدم الاهتمام باستخدامه كسماد بكميات كافية.

الذرة : يقل حجم النباتات ويتحول لون الأوراق السفلى إلى البني أو الأحمر (الأرجوانى) وتبدأ الأوراق السفلى فى الموت.

الفول البلدى، السودانى، البرسيم ومحاصيل الخضر البقولية : تظهر الأعراض مع انخفاض درجة الحرارة شتاءً ، وتبدأ بظهور اللون الأخضر الداكن يعقبة ظهور لون محمر

على الأوراق، ويتأثر نمو النبات ويقل حجمه ويتأخر النضج . وقد يظهر النقص رغم توافر كميات عالية من السماد الفوسفاتى فى التربة، ويرجع ذلك لانخفاض معدل انتشار الفوسفور فى المحلول الأرضى بانخفاض درجة الحرارة .

القطن : تظهر الأوراق السفلية بلون أخضر داكن، وتقل مساحتها كثيرا، وتنتقل الأعراض إلى الأوراق العليا، ويتقزم الساق الرئيسى بشكل ملحوظ، ويتأخر الإزهار وتكوين ونضج اللوز، يقل المحصول .

البطاطس : تظهر الأعراض الأولى بشكل أخضر داكن غير طبيعى للنمو الخضرى، وتتخشب السوق، وتنثنى أعناق الأوراق وحوافها، وكذلك الوريقات لأعلى، وتقل مساحة الوريقات التي يصبح لونها أخضر داكن أكثر من المعتاد، ثم تصفر الأوراق العليا ويتحول لون الأوراق السفلى إلى المصفر، ثم يتكون عليها لون بني أو برونزى بادئا من قمة الورقة حتى يشملها كلها ثم تسقط . وتنتج الدرنات مصابة ببقع بنية صدئة فى اللحم يشمل مناطق منفصلة، وقد تتصل ببعضها لتكون مساحة ذات شكل أشعة أو خطوط عريضة ذات قوام متصلب داخل نسيج الدرنة الناعم .

نماذج لأعراض نقص الفوسفور على بعض النباتات صفحة ٤٦٣ - ٤٦٤

الأسمدة المحتوية على الفوسفور :

مما سبق يتضح أن الفوسفور يكاد أن يكون عديم الحركة وخاصة فى الأراضى المتعادلة والقاعدية ومنها الأراضى المصرية، حيث يكون فى صورة فوسفات كالسيوم . ولا يتحرك الفوسفور المضاف أكثر من ٢-٣ سم من جزيئت السماد المضاف، وذلك لترسيبه بسرعة فى صورة فوسفات ثنائى أو رباعى الكالسيوم، كما يمكن أن يدمص على أسطح كربونات الكالسيوم، والفوسفور فى هذه الحالات لا يكون ميسرا بأى صورة للنبات . ومن ذلك يتضح أن غسيل الفوسفات من التربة لا يشكل أى مشكلة .

أن الكمية الميسرة للنبات تكون قليلة كما هو الحال فى الأراضى القاعدية والجيرية بمقارنة تلك الكمية مع المحتوى الكلى من الفوسفور، ويرجع السبب فى ذلك إلى أرتفاع رقم **pH** الأرض وزيادة محتواها من الكالسيوم مما يسرع ويُزيد من عملية تثبيت الفوسفور . وتعتبر كمية الفوسفات المزالة بواسطة المحاصيل قليلة نسبياً ويمكن تعويضها

عن طريق إضافة كمية أخرى من السماد. ومن ناحية الأسمدة الفوسفاتية نجد أن النباتات المضاف لها هذه الأسمدة تستفيد فقط من ١٠ – ٢٠٪ من الكمية المضافة، وعلى ذلك يجب أن تكون استراتيجية استخدام السماد هي تقليل فرص الاتصال بين التربة وحبيبات السماد ووضعه في منطقة الريز وسفير، حيث يفرز الجذر إفرازات مختلفة ذات تأثير مخلبى وتأثير مختزل ومنها أحماض عضوية وأحماض أمينية وفينولات وسكريات ... وغيرها، مما يؤدى إلي إذابة فوسفات الكالسيوم وكذلك الفوسفات صعبة الذوبان. أيضا وجد أن البقوليات تظهر ميكانيكية فسيولوجية أخري وذلك بإخراج بروتونات (H^+) عند امتصاصها للأمونيوم المثبت ببولوجيا، وذلك للحفاظ على ثبات نسبة الكاتيونات / الأنيونات فى النبات Marschner سنة ١٩٩٥. وفى نفس الوقت يكون من المُهم التفكير فى كيفية زيادة صلاحية الفوسفور الأصلىNative phosphorus وقد يتحقق ذلك بعدة طرق من أهمها تحديد موعد وطريقة إضافة السماد والتي تتوقف على :

١ – **احتياج النبات وطول موسم النمو** : يساهم الفوسفور فى كثير من العمليات الحيوية داخل النبات بما له من ارتباط وثيق بمركبات الطاقة وعمليات انقسام الخلايا. وعلى ذلك يحتاج النبات إليه منذ بداية النمو ويستمر الاحتياج حتى تكون الثمار ودخول النبات مرحلة النضج .

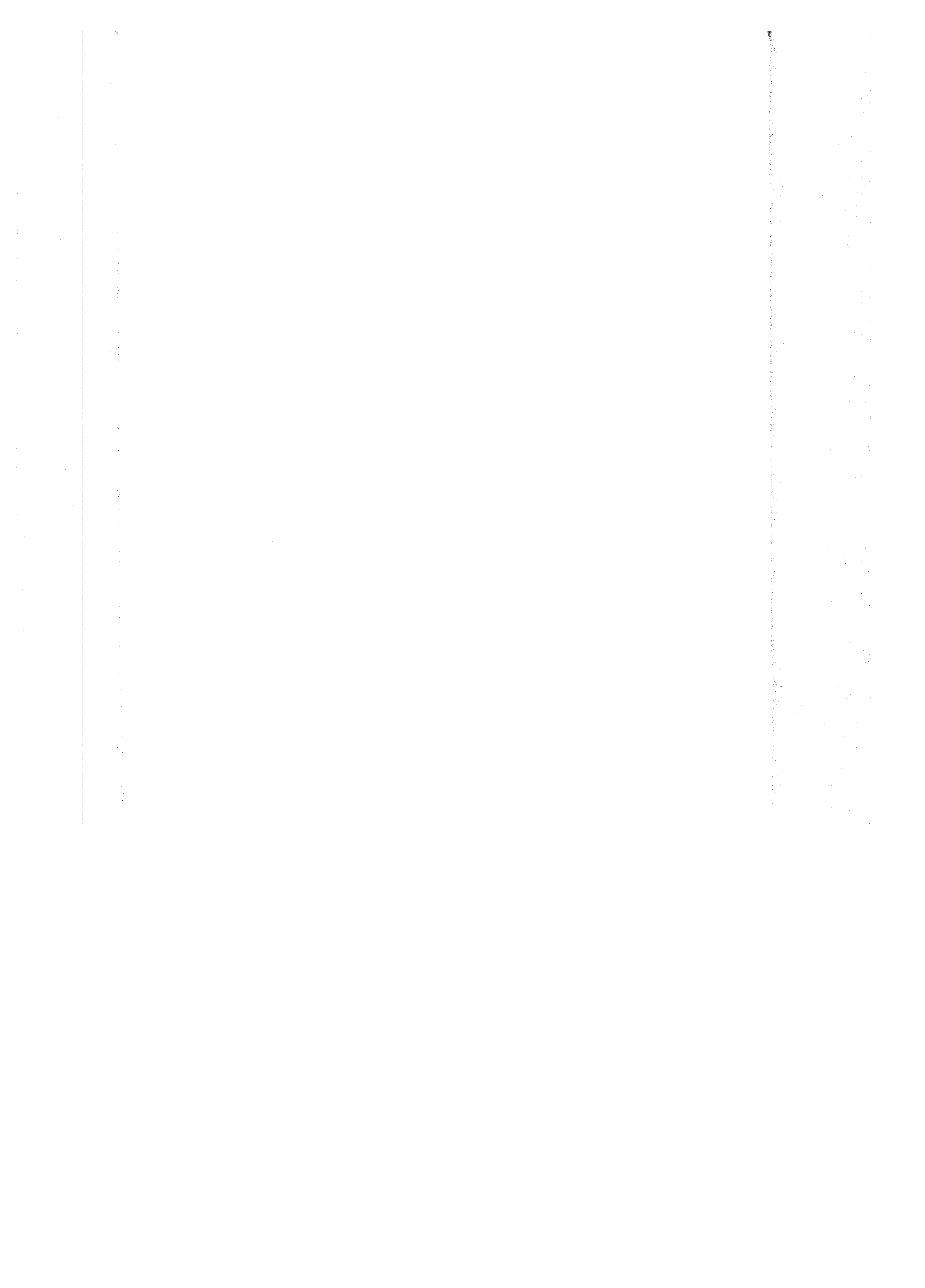
٢ – **درجة ذوبان السماد وحجم حبيباته** : يفضل إضافة السماد سريع الذوبان فى الماء وفى صورة مسحوق بوضعها فى مناطق نمو الجذور وذلك فى حالة المحاصيل ذات فترة النمو القصيرة.

٣ – **خصائص التربة** : في الأراضى الجيرية والأراضى العالية فى محتواها من الكالسيوم يفضل اختيار الاسمدة ذات درجة ذوبان فى الماء مرتفعة وأيضا ذات حبيبات كبيرة. وأيضاً إضافتها بطريقة التلقيم أو التكبيش band بجوار النبات. وفى حالة المحاصيل ذات موسم نمو طويل يفضل إضافة الاسمدة ذات درجة إذابة أقل (٥٠٪) لمثل هذه الاراضى ، ولا يفضل استخدام الأسمدة الناعمة القوام (مسحوق) وذلك لتقليل فرصة تثبيت الفوسفات. وهناك العديد من الأسمدة الفوسفاتية يوضحها جدول (٥–٧). وقد أثبتت التجارب أنه لكي نزيد من كفاءة استخدام السماد

الفوسفاتى فإنه يفضل إضافته فى جور أو شرائح بجوار البذور بدلا من إضافته نثرا، ويرجع ذلك إلى أنه فى حالة الإضافة فى جور أو خطوط تكون الكمية المعرضة للتلامس مع حبيبات التربة أقل، وبالتالى تقل فرصة حدوث عملية التثبيت.

جدول (٥-٧) : أهم الأسمدة الفوسفاتية

اسم السماد	التركيب الكيميائى	ذوبان السماد	P_2O_5 %
سوبر فوسفات	$Ca(H_2PO_4)_2 + CaSO_4$	فى الماء	١٨- ٢٢
سوبر فوسفات مكرر (ثلاثى)	$Ca(H_2PO_4)_2$	فى الماء	٤٦ - ٤٧
فوسفات أحادية الأمونيوم	$NH_4H_2PO_4$	فى الماء	٤٨ - ٥٠
خبث المعادن القاعدى	$Ca_3P_2O_5 . CaO + CaO.SiO_2$	حمض الستريك	١٠ - ٢٢
صخر الفوسفات المطحون	APatite	حمض الستريك	٢٩



الفصل السادس

البوتاسيوم Potassium

الكـبريت Sulphur

الكالسيوم Calcium

الماغنسيوم Magnesium



البوتاسيوم Potassium

يُعتبر البوتاسيوم عنصر من أكبر ثلاثة عناصر مغذية كبرى، حيث يمتص بواسطة النباتات بكمية تفوق باقى العناصر فيما عدا النيتروجين وفى بعض الأحيان الكالسيوم. وعلى عكس العناصر الكبرى الأخرى، فإنه لم يثبت حتى الآن دخول عنصر البوتاسيوم فى بناء المركبات العضوية الضرورية واللازمة لا ستمرار وجود النبات. وبالرغم من هذه الحقائق فإن البوتاسيوم عنصر لا غنى عنه، ولا يمكن لعنصر آخر مشابه له كالصوديوم أو الليثيوم أن يحل محله تماماً، إذ يوجد البوتاسيوم دائماً على هيئة مركبات غير عضوية ذائبة، ولو أنه يتحد أيضاً بالأحماض العضوية، ويتدخل هذا العنصر فى تكوين الكربوهيدرات وما ينشأ منها من مركبات أخرى، ويعمل على تنظيم محتويات الخلية من الماء، ويساعد فى عملية تكثيف المركبات البسيطة إلى مركبات معقدة كما أنه ينشط الإنزيمات. ويوجد هذا العنصر بكميات كبيرة فى الأعضاء الحديثة السن النشيطة النمو، وخاصة البراعم والأوراق الصغيرة وقمم الجذور وخصوصاً فى سائل الخلية Cell sap والسيتوبلازم، فى حين أنه قليل التركيز فى البذور والأنسجة الناضجة. وينتقل البوتاسيوم وبحرية تامة خلال الأنسجة؛ ولذلك يستطيع النبات أن يُعيد استخدامه مرة أخرى بانتقاله من الأنسجة القديمة إلى الأنسجة النامية.

البوتاسيوم فى الأرض Potassium in Soil

يُعتبر البوتاسيوم من أكبر العناصر شيوعاً بالقشرة الأرضية، حيث يُمثل ٣ر٠–٥ر٢٪ من المكونات المعدنية للقشرة الأرضية. ويدخل البوتاسيوم فى تركيب بعض المعادن التى تُصبح غنية فى محتواها من هذا العنصر، وعندما تتركز هذه المعادن فى بعض الأماكن تُعتبر هذه المناطق مناجم تمد العالم بكميات كبيرة من أملاحه. ويوجد البوتاسيوم فى المعادن الأولية Primary minerals والتى تعتبر المصدر الأساسى للبوتاسيوم مثل: الفلسبارات البوتاسية Potash feldspars ومنها: الأورثوكلاز والميكروكلين Orthoclase and Microcline $KAlSi_3O_8$ ، وتحوى من ٤–١٥٪ K_2O، المسكوفايت Muscovitete $KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$، وتحوى من ٧ – ١١٪ K_2O

والبيوتايت $K(Mg,Fe)_2\ Al_2\ O_{10}\ (OH)_2$، كذلك يوجد البوتاسيوم فى كثير من المعادن الثانوية (الطين) وعلى هذا تكون الأراضى الغنية فى الطين ذات محتوى أكبر من البوتاسيوم بالمقارنة بالأراضى الرملية أو العضوية، وبالرغم من وجوده فى الأراضى الطينية بكمية أكبر إلا أن محلولها الأرضى لا يحتوى على كميات كبيرة منه بسبب إدمصاص هذا الكاتيون على أسطح حبيبات الطين، ولكن هناك توازن دائم بين هذه الكمية المدمصة والذائبة فى المحلول الأرضى . وتختلف قدرة كل من المركبات السابقة على إمداد المحلول الأرضى بالبوتاسيوم وذلك حسب مقاومة تلك المركبات لعوامل التجوية، ويمكن ترتيب هذه المركبات حسب سرعة تجويتها كما يلى :

الطين (الإيلليت) > الميكا (المسكوفايت والبيوتايت) > الفلسبارات (الأورثوكلاز والميكروكلين)

يوجد البوتاسيوم فى التربة الزراعية باشكال متعددة ويمكن تقسيمها إلى :

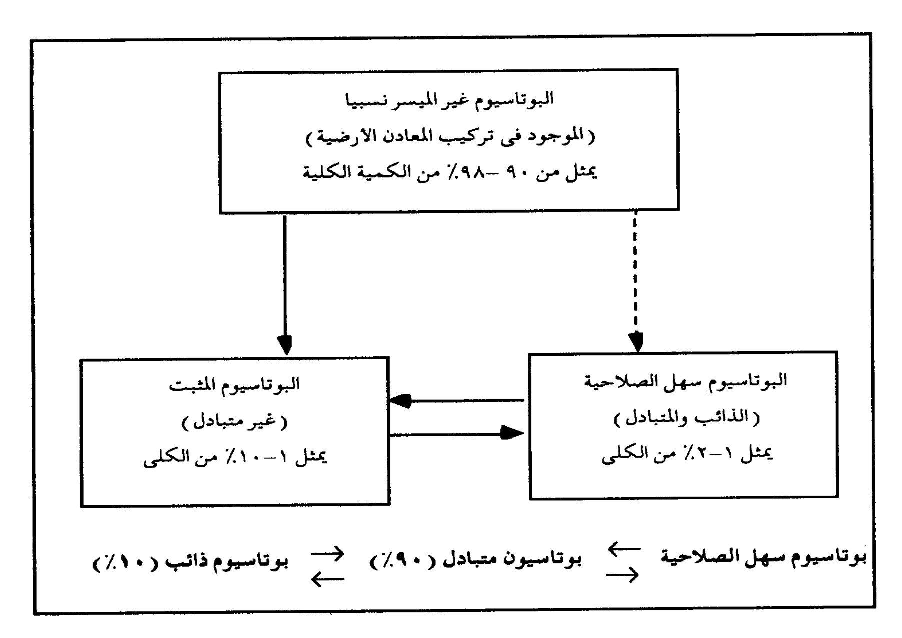
أ — البوتاسيوم الموجود فى تركيب المعادن الأرضية .

ب — البوتاسيوم المُثبت (غير قابل للتبادل) .

ج — البوتاسيوم المتبادل (هذا الجزء يمكن استخلاصة بواسطة خلات الأمونيوم) .

د — البوتاسيوم الذائب فى المحلول الأرضى (ذائب فى الماء) .

ويطلق على الصورتين الأخيرتين غالباً البوتاسيوم المُيسر (available K)، حيث تعتبر من أسهل مصادر إمداد جذور النبات النامى بواسطة البوتاسيوم .



شكل (٦-١) : العلاقة بين الصور المختلفة للبوتاسيوم في التربة الزراعية

من شكل (٦-١) نجد أن هناك اتزاناً بين الصور المختلفة للبوتاسيوم والموجودة بالأرض. ويمكن تقسيم صور البوتاسيوم والموجودة بالأرض على أساس درجة تيسير هذه الصور للنبات إلى ثلاثة أقسام رئيسية :

١- البوتاسيوم غير المُيسر نسبيا Relatively unavailable potassium وتمثل هذه الصورة من ٩٠ إلى ٩٥٪ من البوتاسيوم الكلى.

٢ - البوتاسيوم (المثبت) البطيء الصلاحية Slowly availabile.

٣ - البوتاسيوم سريع الصلاحية Readily avialable. وتعتبر الصورتان الاخيرتان ذات تأثير معنوى من وجهة نظر تغذية النبات وإنتاج المحاصيل. ويمكن تناول الصور المختلفة بشيء من التفصيل :

أولاً : البوتاسيوم غير المُيسر نسبياً Relatively Unavailable Potassium

الجزء الأكبر من البوتاسيوم الكلى والموجود فى الأرض يوجد فى هذه الصورة. ويتواجد البوتاسيوم والمُصنَف فى هذه الصورة فى تركيب المعادن الأولية، وأهم هذه المعادن الفلسبارات Feldspars والميكا Mica . ونظراً لأن هذه المعادن السليكاتية شديدة المقاومة لعمليات التجوية، فإن كمية البوتاسيوم المنطلقة والتى تُصبح مُيسرة للنبات تكون قليلة خلال موسم نمو المحصول. وعلى الرغم من ذلك تُعتبر هذه الصورة ذات أهمية كبيرة نظراً لمساهمتها فى الحفاظ على مستوى البوتاسيوم المُيسر على المدى الطويل، بتوافر ظروف التجوية الكيميائية وخاصة المُذيبات مثل: الماء وحمض الكربونيك والأحماض العضوية ينطلق البوتاسيوم تدريجياً من هذه المعادن نتيجة لحدوث الإذابة والتحلل.

ثانياً : البوتاسيوم بطئ الصلاحية Slowly Available

البوتاسيوم بطئ الصلاحية يتكون من البوتاسيوم المُثبت بواسطة بعض معادن الطين مثل: الإيلليت Illite والفيرمكيولايت Vermiculite والكلورايت Chlorite، حيث يكون البوتاسيوم مرتبطاً أو مثبتاً بين طبقات السليكا والألومنيوم فى تلك المعادن. والبوتاسيوم المحجوز بهذه الطريقة لا يكون سهل التحرر أو الانطلاق إلى المحلول الأرضى، وبالتالى يكون بطيء الصلاحية للنباتات النامية. كما أن البوتاسيوم الموجود فى هذه الصورة غير قابل للتبادل مع الأيونات الأخرى المشابهة له فى الشحنة الكهربائية خلال عملية التبادل الأيونى المعروفة وبالتالى يُطلق عليه اسم البوتاسيوم غير القابل للتبادل Nonexchangeable أو المُثبت Fixed.

ثالثاً : البوتاسيوم سريع الصلاحية Readily Available.

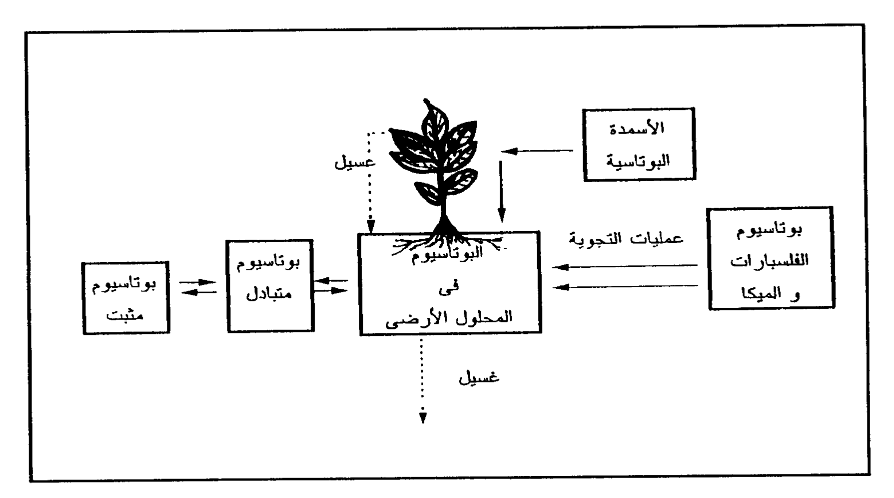
تمثل كمية البوتاسيوم سهلة الصلاحية من ١-٢٪ وهى نسبة ضئيلة من الكمية الكلية، وهى تشمل البوتاسيوم الذائب والذى يُمثل ١٠٪ من هذه الصورة والبوتاسيوم المتبادل على أسطح الغرويات الأرضية والذى يُمثل ٩٠٪. والبوتاسيوم المتبادل يكون فى حالة اتزان مع البوتاسيوم الذائب وهما يُمثلان المصدر الرئيسى للبوتاسيوم الممتص بواسطة النباتات النامية. ويعتبر البوتاسيوم الذائب فى المحلول الأرضى أكثر الصور تعرضاً

لعملية الفقد بالغسيل. ونتيجة لان كلاً من البوتاسيوم الذائب والمتبادل يكونان فى حالة اتزان ديناميكى باستمرار فيكون هذا مهم من الناحية العملية، لأنه بامتصاص النبات للبوتاسيوم الذائب يحدث خلل فى هذا الاتزان نتيجة لانخفاض التركيز فى المحلول الارضى، وبالتالى يحدث انطلاق لأيونات البوتاسيوم المتبادلة على أسطح الغرويات الأرضية إلى المحلول الأرضى، والعكس تماماً يحدث بزيادة التركيز فى المحلول الأرضى نتيجة إضافة أسمدة بوتاسية. وبصفة عامة يُعتبر بوتاسيوم المحلول الأرضى والبوتاسيوم المتبادل هما المصدران الأساسيان للبوتاسيوم الممتص بواسطة النبات.

دورة البوتاسيوم فى الأرض Potassium cycle in soil

يمكن توضيح دورة البوتاسيوم بالرسم الموضح فى شكل (٦-٢). الجزء الأعظم من البوتاسيوم موجود ضمن التركيب الكيميائى لبعض المعادن الأولية، وخلال عملية التجوية سواء الطبيعية والكيماوية والبيولوجية منها يحدث تفتيت وتكسير لتلك المعادن والمتمثلة فى مادة الأصل وينتج حبيبات معدنية مختلفة الحجم يتراوح من حجم حبيبات الطين إلى حجم حبيبات الرمل، ونتيجة لعملية التفتيت لتلك المعادن تنطلق بعض العناصر ومنها عنصر البوتاسيوم، وأيضاً يحدث تكوين لبعض معادن الطين الثانوية. ووجد أن هناك علاقة بين الكمية المُنطلقة من البوتاسيوم وحجم الحبيبات الناتجة من عملية التفتت، حيث تتأثر عمليات تثبيت وانطلاق البوتاسيوم بنسبة كل من كمية الرمل والسلت أو الطين، وأيضاً بنوع معدن الطين. وفى الأراضى ذات القوام الرملى أو السلتى تكون حبيباتها من الكوارتز أو معادن أخرى مثل الفلسبار، ولكن لوجود هذه الحبيبات فى هذا الحجم الكبير نسبياً تكون قابليتها للإذابة قليلة جداً، وأيضاً النشاط السطحى لها قليل وبالتالى تكون قدرتها على تثبيت البوتاسيوم قليلة جداً. ويمكن ترتيب قابلية المعادن الأولية والغنية فى البوتاسيوم حسب درجة مقاومتها إلى عملية التجوية كما يلى:

الفلسبارات > الميكا > الإيلليت



شكل (٦-٢): دورة البوتاسيوم في الأرض

ومعظم البوتاسيوم الناتج من عملية التجوية يتحول إلى الصورة المتبادلة والذى يُعَرف على أنه البوتاسيوم المدمص على أسطح غرويات التربة والتى تحمل شحنة سالبة. ويمكن استخلاص هذه الصورة ببعض المحاليل الخاصة بذلك مثل: خلات الأمونيوم Ammonium acetate، وتتوقف هذه الكمية على التركيب المعدنى للتربة –نسبة الرطوبة– ظروف التجوية– عمليات الغسيل– السعة التبادلية الكاتيونية للتربة– تركيز الأيونات الأخرى ومحتوى التربة من كبريتات وكربونات الكالسيوم (واللتان تعملان على تقليل مواقع التبادل، وبالتالى تنخفض السعة التبادلية الكاتيونية مما يقلل من محتوى التربة من البوتاسيوم المتبادل). ويعتبر البوتاسيوم المتبادل صورة ميسرة للنبات، حيث ترتبط هذه الصورة بحالة اتزان سريع مع الصورة الذائبة، وقد يصعب فصل الصورتين عن بعضهما حتى أثناء التقدير الكمى. والبوتاسيوم الناتج من عملية التجوية يتحول إلى الصورة غير المتبادلة والتى تُعَرف على أنها الصورة البطيئة والمتوسطة التحرر. وهناك علاقة وثيقة بين الصورة المتبادلة وغير المتبادلة والتى تعتمد على حالة الاتزان الكيميائى بينهما، ولا يمكن النظر إلى الصورة غير المتبادلة على أنها غير ميسرة

للنبات، حيث ثبت أن النباتات يمكن تمتص جزء من هذه الصورة تحت ظروف معينة. وسرعان ما تتحول هذه الصور إلى الصورة الأيونية K^+ الذائبة فى المحلول الأرضى. ومن مصادر البوتاسيوم الذائب فى المحلول الأرضى البوتاسيوم المضاف فى صورة أسمدة كيماوية. والنباتات تمتص البوتاسيوم كأيون K^+ بصورة أساسية من المحلول الأرضى وكمية قليلة من البوتاسيوم المتبادل على أسطح التبادل عن طريق التبادل بالتماس، وكمية أخرى من البوتاسيوم الذائب فى المحلول الأرضى تدخل فى تفاعلات التبادل الأيونى ويحدث لها إدمصاص على أسطح الغرويات المعدنية. وبصفة عامة هناك عدة عوامل تؤثر على الكمية الميسرة من البوتاسيوم فى المحلول الأرضى سوف نتناولها بشىء من التفصيل.

العوامل المؤثرة على تثبيت البوتاسيوم فى الأرض

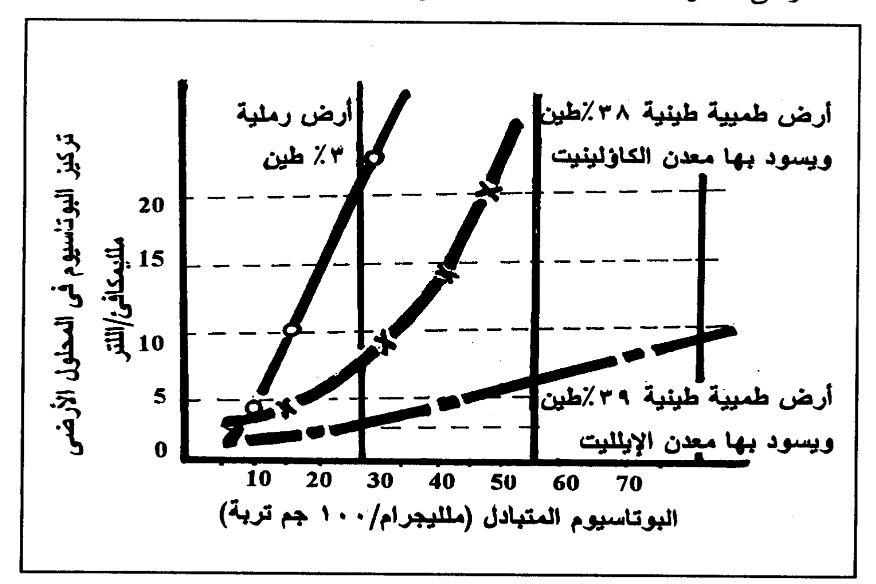
١ - كمية ونوع الطين:

عادة يتم تثبيت البوتاسيوم بواسطة معادن الطين داخل الفجوة السداسية فى طبقة التتراهيدرا السيليكا، وخاصة معادن الطين من نوع ٢ : ١ وذلك لتقارب نصف قطر أيون البوتاسيوم (١,٣٣ أنجستروم) مع نصف قطر هذه الفجوة (١,٣٥ أنجستروم). وتتم عملية التثبيت نتيجة انتقال الأيون من مواقع التبادل المشبعة إلى هذه الفجوات، وبالتالى فإن معادن الطين السائدة يكون لها تأثيرها الكبير فى عملية التثبيت. ومن هنا تختلف قدرة معادن الطين فيما بينها على تثبيت البوتاسيوم. ويمكن توضيح ذلك بنتائج إحدى الدراسات فى ألمانيا **Nemeth and Hrrach** سنة ١٩٧٤، حيث تم استخدام ثلاث عينات تربة مختلفة فى محتواها من الطين الأولى بها ٣٪، الثانية بها ٣٨٪ ونوع معدن الطين السائد الكاؤلينيت، بينما العينة الثالثة تحوى ٣٩٪ طين لكن معدن الطين السائد هو الإيلليت. وكانت النتائج كما يوضح الشكل (٦-٣).

أ - عند نفس المستوى من البوتاسيوم المتبادل، كان تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى فى الأراضى الطينية منخفض عنه فى الأرض الرملية (٣٪ طين).

ب - عند نفس المحتوى من الطين (٣٨٪ و٣٩٪ طين) يختلف تركيز البوتاسيوم فى

المحلول الأرضى اعتماداً على نوع معدن الطين، حيث وجد أن العينة الغنية بمعدن الإيللت تدمص كمية أكبر من البوتاسيوم مما أدى إلى انخفاض التركيز فى المحلول الأرضى بالمقارنة بالعينة الغنية بمعدن الكاؤلينيت.



شكل (٦-٣): تأثير كمية ونوع معادن الطين علي كمية البوتاسيوم الذائبة في المحلول الأرضي

وعلى ذلك فعند إضافة كميات متساوية من أسمدة البوتاسيوم (مثلاً لرفع مستويات البوتاسيوم المتبادل من ٥ إلى ١٥ ملليجرام/١٠٠جم تربة) نجد أن تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى للأراضى الرملية والتى تحوى كمية قليلة من الطين يرتفع بشدة، ويرجع ذلك لأن الكمية القليلة من الطين يحدث تشبع لأسطح التبادل عليها بسرعة، بينما فى الأراضى الثقيلة والتى تحتوى على ٣٩٪ طين فإن تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى يكون قليل ويرجع ذلك لأن محتوى تلك الأرض مرتفع من معدن الإيلليت، والذى يقوم بإدمصاص البوتاسيوم المضاف بسرعة. فى حين نجد أن الأرض الغنية فى معدن

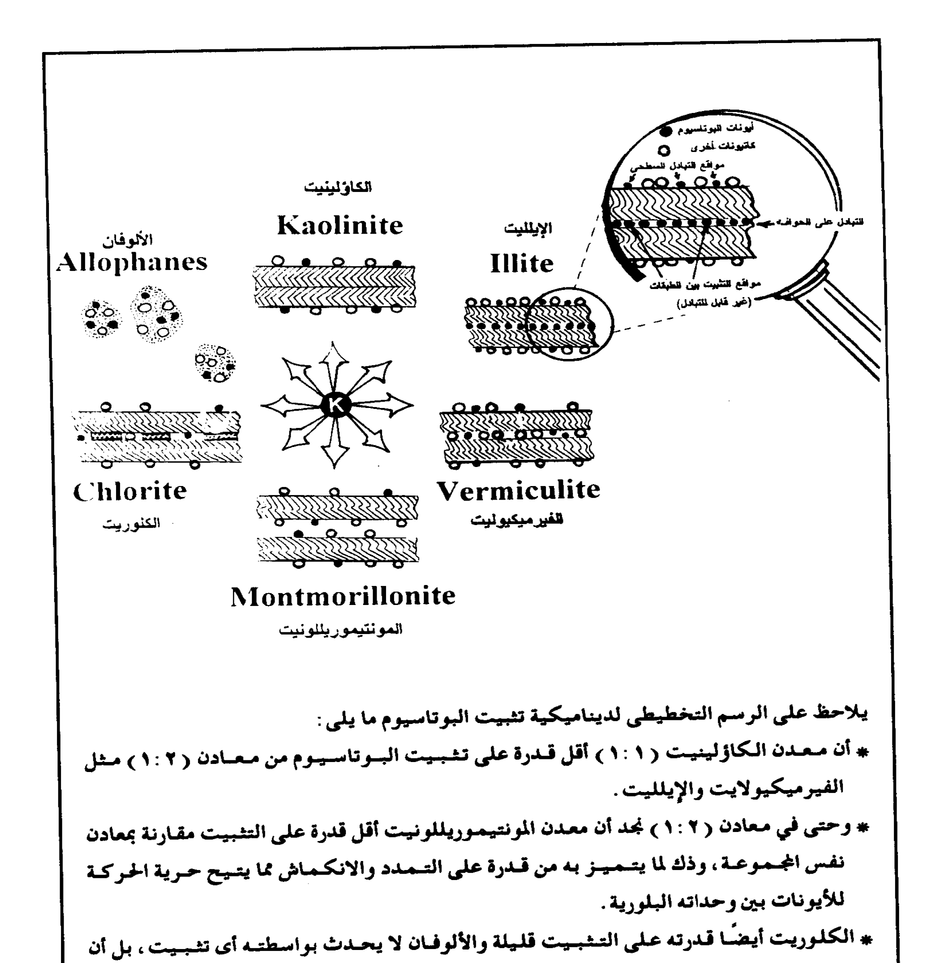
الكاؤلينيت تأخذ موقعاً متوسطاً، وعلى الرغم من أن هذه الأرض ثقيلة (بها ٣٨٪ طين) إلا أن تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى يكون مرتفعاً كما فى الأرض الرملية تقريباً. ويمكن تقسيم معادن الطين الموجودة فى الأرض حسب درجة تثبيتها للبوتاسيوم إلى ثلاث مجموعات أساسية يمكن توضيح ديناميكية تثبيت كل منها للبوتاسيوم فى شكل (٦-٤) وهذه المجموعات هى:

أولاً: معادن الكاؤلينيت

وهذه المعادن من نوع ١:١ وقدرتها على التثبيت قليلة نظراً لطبيعة تركيبها البلورى وقلة كمية الشحنة السالبة على أسطحها، وعلى ذلك تكون الكمية المنطلقة من البوتاسيوم فى الأراضى الغنية فى الكاؤلينيت أقل منها من تلك التى تحتوى على نسبة عالية من المعادن من نوع ٢:١. ويرجع ذلك لأن الكاؤلينيت لايثبت البوتاسوم بين طبقاته، لكن يمسكه بقوة على أسطحه الخارجية عند الحواف لأن مصدر الشحنة هو طبقة التتراهيدرا (خارجية).

ثانياً: معادن الإيلليت والفيرمكيولايت

هذه المعادن من نوع ٢:١ وتتميز بقدرتها العالية على تثبيت البوتاسيوم نظراً لطبيعة تركيبها البلورى، وعلى ذلك فهذه المعادن تدمص البوتاسيوم من المحلول الأرضى وتثبته بين الوحدات البلورية لها، والتثبيت يتم بطريقة طبيعية وذلك لتشابه حجم كل من أيون البوتاسيوم والمسافة البينية بين الوحدات البلورية، وأيضاً مما يزيد من عملية التثبيت عدم قابلية هذه المعادن على التمدد بالرطوبة. والبوتاسيوم المثبت لايكون صالحاً للنبات فى حينه لكن ينطلق ببطء مع انخفاض تركيز كل من البوتاسيوم المتبادل والبوتاسيوم الذائب.



يلاحظ على الرسم التخطيطى لديناميكية تثبيت البوتاسيوم ما يلى :

* أن معدن الكاؤلينيت (١ : ١) أقل قدرة على تثبيت البوتاسيوم من معادن (٢ : ١) مثل الفيرميكيولايت والإيلليت.
* وحتى في معادن (٢ : ١) نجد أن معدن المونتيموريللونيت أقل قدرة على التثبيت مقارنة بمعادن نفس المجموعة، وذلك لما يتميز به من قدرة على التمدد والانكماش مما يتيح حرية الحركة للأيونات بين وحداته البلورية.
* الكلوريت أيضًا قدرته على التثبيت قليلة والألوفان لا يحدث بواسطته أى تثبيت، بل أن الأيونات المدمصة على أسطحه تكون سهلة التبادل.

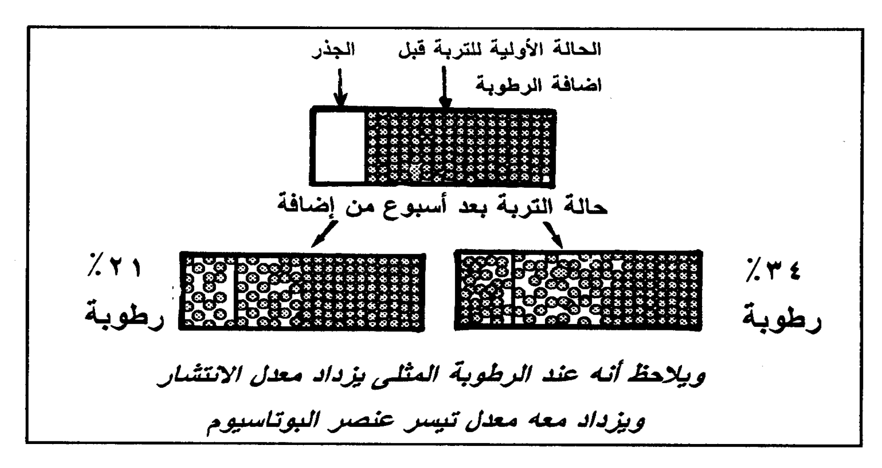
شكل (٦-٤) : رسم تخطيطي يوضح ديناميكية تثبيت البوتاسيوم بمعادن الطين المختلفة

ثالثًا : معدن المونتيموريللونيت :

هذا المعدن أيضًا من نوع ٢ : ١ ، لكنه لا يثبت البوتاسيوم نظرًا لأن قوة الربط بين المعدن وأيون البوتاسيوم منخفضة؛ لأن مصدر الشحنة يكون طبقة الأوكتاهيدرا البعيدة عن السطح الخارجى وذلك عكس معدن الكاؤلينيت . وأيضًا هذا المعدن له القدرة على التمدد والانكماش مما يساعد على حرية دخول وانطلاق أيون البوتاسيوم من مواقع التبادل الدمصة على الأسطح الداخلية بين الوحدات البلورية للمعدن . ونتيجة لأن السعة التبادلية الكاتيونية لهذا المعدن مرتفعة فمن المتوقع أن تكون كمية البوتاسيوم المتبادلة كبيرة وهى تعتبر صورة صالحة للنبات، وبالتالى يمكن القول بإن التثبيت بواسطة هذا المعدن لا يعتبر مشكلة، بل يعتبر البوتاسيوم المتبادل مخزون صالح للاستهلاك بواسطة النبات . علمًا بأنه فى حالة الجفاف الشديد يمكن أن يحدث تثبيت لجزء من البوتاسيوم الموجود على الأسطح الداخلية وسرعان ما ينطلق للمحلول الأرضى مع ابتلال هذه المعادن .

٢ - محتوى الأرض من الرطوبة

غالبية البوتاسيوم الذى يمتصه النبات ينتقل إلى الجذور من المحلول الأرضى . ويتم الانتقال عن طريق التدفق الكتلى **Mass flow** ، وأيضًا عن طريق الانتشار نتيجة لحدوث تدرج فى التركيز الناتج من امتصاص الجذور للبوتاسيوم . وعلى ذلك فإن الكمية التى تصل إلى المجموع الجذرى تعتمد على تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى القريب والبعيد عن المجموع الجذرى . وكما هو معروف بأن الانتشار يتأثر بمحتوى الأرض من الرطوبة، حيث يزداد معدل الانتشار بزيادة محتوى الأرض من الرطوبة . ولقد أوضحت نتائج التجارب التى قام بها **Grimme** وآخرون سنة ١٩٧١ حول تأثير محتوى الأرض من الرطوبة على معدل انتشار وحركة أيون البوتاسيوم فى المحلول الأرضى تحت مستويات مختلفة من البوتاسيوم المتبادل لعينة أرض واحدة، أن معدل الانتشار كان أعلى وأيضًا مسافة انتقال أيون البوتاسيوم كانت أطول فى الأرض الرطبة عن الأرض الجافة، ويمكن توضيح هذه النتائج كما فى شكل (٦-٥) . ولهذا فإن الأراضى الجافة تحتاج إلى كمية أكبر من البوتاسيوم كى ينتشر أو ينقل بصورة أسرع ليعطى أعلى درجة من التيسر للنبات .



شكل (٦-٥) : يوضح تأثير نسبة الرطوبة بالأرض علي معدل انتشار البوتاسيوم

كما يؤثر المحتوى الرطوبى على تثبيت البوتاسيوم بواسطة معادن الطين، حيث وجد أن التجفيف يؤدى إلى زيادة التثبيت بسبب زيادة تجمع البوتاسيوم على أسطح معادن الطين، وتعاقب الرى والتجفيف تؤدى إلى تحرر البوتاسيوم المثبت. كما لوحظ أن هناك بعض معادن الطين التى تثبت البوتاسيوم تحت ظروف الرطوبة أو الجفاف على حدٍ سواء، ويرجع ذلك إلى عدم قدرة هذه المعادن على التمدد بالرطوبة.

٣ - إضافة الكالسيوم

وجد أن إضافة الكالسيوم إلى الأراضى الحامضية يؤدى إلى زيادة كمية البوتاسيوم المتبادل، حيث يقوم الكالسيوم بطرد الهيدروجين جزئيًا من على أسطح التبادل، وبالتالى يسمح بدخول البوتاسيوم ويمنع فقده عن طريق الغسيل. أما فى الأراضى المتعادلة والقاعدية فإن إضافة الكالسيوم تؤدى إلى زيادة البوتاسيوم الذائب.

٤ - تأثير أيون الأمونيوم

سبق وأن ذكرنا أن نصف قطر أيون البوتاسيوم K^+ (١,٣٣ أنجستروم) مقارب إلى نصف قطر الفجوة السداسية فى طبقة التتراهيدرا (١,٣٥ أنجستروم)، وبالتالى يحدث

تثبيت للبوتاسيوم فى هذا الموقع. أيضًا وجد أن أيون الأمونيوم NH_4^+ (١,٣ أنجستروم) مقارب لهذه الفجوة السداسية. ولهذا السبب فإن هناك تأثيرًا متبادلاً لهذين الأيونين على تثبيت كل منهما للآخر. حيث أثبتت نتائج العديد من الأبحاث أن مواقع تثبيت البوتاسيوم والأمونيوم متشابهة، وعند إضافة الأمونيوم أولاً فإن مواقع التثبيت يتم شغلها بهذا الأيون مما يؤدى إلى جعل البوتاسيوم المضاف بعده فى صورة ميسرة، وتزداد كمية الأمونيوم المثبتة بزيادة الكمية المضافة منه، ونتيجة لصغر حجمه تزداد قوة مسكه بين الطبقات. فى حين أن إضافة البوتاسيوم أولاً فإنه يعمل على تقليل الأمونيوم المثبت. ووجد أن فى حالة إضافة كميات متساوية من الأيونين يتم تثبيت كمية أكبر من البوتاسيوم بالمقارنة بكمية الامونيوم المثبتة.

فى الأراضى العضوية والرملية يرتبط البوتاسيوم بمواقع سطحية والتى ترتبط بحالة اتزان سريع مع البوتاسيوم الذائب فى المحلول الأرضى، وإن عدد هذه المواقع فى مثل هذه الأراضى قليل جداً وكذلك الحال فى معادن الطين من نوع ١ : ١ والتى تمتاز بعدم قدرتها على تثبيت البوتاسيوم. وبالتالى فإن تركيز المحلول الأرضى من البوتاسيوم فى الأراضى الطينية والغنية فى معادن من نوع ٢ : ١ يكون منخفضًا بالمقارنة مع تركيز البوتاسيوم فى المحلول الأرضى للأراضى الرملية أو الأراضى الطينية الغنية بمعادن من نوع ١ : ١ مثل معادن الكاؤلينيت، وذلك لقلة محتوى الأراضى الأخيرة على مواقع ادمصاص البوتاسيوم وانعدام مواقع التثبيت. وبالتالى يمكن التوقع بأن معدل انتشار البوتاسيوم فى الأراضى الرملية أو العضوية وحركته إلى الطبقات تحت السطحية فى القطاع الأرضى يكون أكبر عن ما هو فى الأراضى المعدنية الطينى والغنية بمعادن ٢ : ١ وذلك عند تساوى الرطوبة فى كليهما.

اختبارات التربة للبوتاسيوم:

تعتبر كمية البوتاسيوم المتبادلة فى تربة معينة هى المحددة لمدى استجابة النباتات النامية بها لإضافة البوتاسيوم من عدمه. ومن أهم الطرق المستخدمة فى هذا المجال هى طريقة الاستخلاص بمحلول خلات الأمونيوم قوته واحد أساسى، وعلى الرغم من وجود طرق عديدة ومنها طريقة محلول حمضى مخفف، إلا أنها أقل كفاءة من طريقة خلات الأمونيوم. وجدول (٦–١) يوضح قيم المستويات الحرجة للبوتاسيوم فى الأراضى

المختلفة القوام والمستخلصة بمحلول خلات الأمونيوم.

البوتاسيوم فى النبات

عادةً يوجد البوتاسيوم فى صورة ذائبة داخل العصير الخلوى وسوائل الأنسجة النباتية. ويوجد مرتبطًا بروابط ضعيفة وليس مثبتًا داخل المركبات العضوية فى النبات. وعلى ذلك يكون البوتاسيوم سريع الحركة والانتقال داخل النبات، وبالتالى فهو ينتقل من الأجزاء المُسنة إلى النموات الحديثة فى الجذور والسيقان.

جدول (٦-١) : المستويات الحرجة للبوتاسيوم في التربة

نوع الأرض	مستوى البوتاسيوم الصالح (ppm)		
	المنخفض	متوسط	مرتفع
رملية	٨٥ >	١٧٠ – ٨٥	١٧٠ <
رملية طميية طينية	١٢٥ >	٢٥٠ – ١٢٥	٢٥٠ <
أرض جيرية	١٧٥ >	٣٥٠ – ١٧٥	٣٥٠ <

عن أبو الروس وآخرون سنة ١٩٩٢.

والبوتاسيوم يمتص مبكرًا عن كل من النيتروجين والفوسفور ووجد أن معدل زيادة الكمية الممتصة من هذا العنصر أسرع من معدل انتاج المادة الجافة للنبات. وهذا يعنى أن البوتاسيوم يتراكم داخل النبات أثناء فترة النمو الأولى، ثم يحدث له انتقال داخل أجزاء النبات. حيث وجد أنه عند مرحلة النضج فإن البوتاسيوم الموجود بمحصول الحبوب لنبات الذرة لا تزيد كميتة عن ثلث الكمية الموجودة فى الأجزاء الأخرى من النبات. ويمكن إيجاز الوظائف الحيوية للبوتاسيوم فى النبات فيما يلى:

١ – يعتبر منشط لعمل كثير من الإنزيمات المرتبطة بعمليات التمثيل الضوئى وتمثيل كل من البروتينات والكربوهيدرات فى النبات.

٢ – يساعد فى انتقال الكربوهيدرات من مناطق تخليقها إلى الأجزاء الأخرى من النبات، المحافظة على بناء البروتينات، نفاذية الأغشية والتحكم فى pH الخلية، ويساعد على الاستفادة من الماء عن طريق تنظيم فتح الثغور.

٣ – يحسن من الاستفادة من الضوء خلال فترات الطقس الباردة ووجود الغيوم؛ وبذلك يزيد من قدرة النبات على تحمل البرودة وذلك لتأثيره على تنشيط الإنزيمات الناقلة للكربوهيدرات التى تفقد نشاطها فى ظل ظروف البرودة.

٤ – يزيد من قدرة النبات على مقاومة الأمراض.

٥ – يزيد من حجم الحبوب والبذور ويحسن من جودة ثمار الفواكه والخضراوات.

٦ – يؤثر البوتاسيوم على امتصاص النبات للماء، حيث يساعد على زيادة الضغط الإسموزى للخلية، وبالتالى يتحرك الماء إلى داخل الخلية مما يؤدى إلى زيادة ضغط الامتلاء أو الانتفاخ **Turgor pressure** للخلية، وهذا الضغط ضرورى لتمدد الخلية. كذلك يساعد على توليد ضغط داخلى للخلية على الجدران الداخلية للخلية مما يعمل على فتح ثغور، وبالتالى زيادة عملية النتح **Transpiration** ودخول ثانى أوكسيد الكربون الجوى إلى داخل الورقة مما يساعد فى عملية البناء الضوئى، كذلك يزيد من عدد الثغور فى الأوراق. ونتيجة للتأثير الإسموزى للبوتاسيوم الممتص يتم تعويض نقص الماء المفقود بالنتح عن طريق امتصاص مزيد من الماء.

ومن خلال دور البوتاسيوم فى زيادة كفاءة ومعدل عملية التمثيل الضوئى ومحتوى النبات والكربوهيدرات، فإنه يساعد على زيادة مساحة الأوراق فى النبات. وبمساهمة هذا العنصر فى تنشيط الإنزيمات فى جميع مراحل النمو يساعد فى الحفاظ على أكبر عدد ممكن من الأوراق النباتية بحالة نشطة حتى نهاية موسم النمو مما يؤثر على زيادة الإنتاج وتحسين نوعيته ومحتواه من الكربوهيدرات.

أعراض نقص البوتاسيوم

لأن البوتاسيوم من العناصر المتحركة داخل النبات لوجوده فى صورة ذائبة، فإن أعراض النقص لهذا العنصر تظهر أولاً على النموات المسنة. ويمكن تلخيص أهم أعراض النقص الظاهرية على النبات فيما يلى:

١ – ظهور اصفرار على حواف الأوراق المسنة، ثم يحدث لها ما يشبه الاحتراق ويتحول اللون إلى البنى، ثم ينتشر اللون تدريجياً إلى داخل الورقة. أى تظهر بقع لأنسجة

ميتة صغيرة، وتكون عادة على الأطراف العليا للأوراق، ثم يمتد انتشارها إلى أسفل بطول الحواف وإلى الداخل فيما بين العروق ولكنها تكون واضحة ومميزة على الحواف.

٢ – بطء النمو وتقزم النبات.

٣ – ضعف الساق للنبات وبالتالى ضعف قدرته على مقاومة الرقاد.

٤ – ذبول البذور والثمار وعدم اكتمال نموها.

بجانب هذه الأعراض الظاهرية فإن نقص البوتاسيوم يؤدى إلى رداءة ونوعية الثمار، وانخفاض محتوى النبات من الكربوهيدرات، كما يؤدى إلى ظهور التجعدات والذبول داخل بعض الثمار خصوصاً الطماطم والبطاطا، ويعمل على غياب اللون فى بعض الثمار مثل: التفاح وفى الطماطم يؤخر من تطور اللون. كذلك يعمل على تكوين حبوب فارغة فى محاصيل الحبوب وقرون البقوليات، كما يسبب انخفاض حموضة الموالح وانخفاض محتوى الدهون فى حبوب المحاصيل الزيتية. وسوف نتناول أعراض البوتاسيوم على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية:

الموالح: تظهر الأعراض باصفرار حواف الأوراق والأجزاء القريبة من التعريق ويتحول هذا اللون إلى البنى، ثم يحدث جفاف للأوراق وتسقط مبكرا قبل مواعيدها مع ظهور بقع بنية اللون على الأوراق الحديثة أحياناً. وتظهر الفريعات الحديثة رفيعة وطويلة، ثم تجف أطرافها وتموت فى أواخر فصل الصيف. أما الثمار فتكون صغيرة الحجم ذات قشرة رقيقة.

العنب: تصبح أطراف الورقة ذات لون غير طبيعى عند الحواف حيث يصبح اللون أخضر باهت أو برونزى يميل إلى البنى. ويحدث ذلك غالبا فى الأوراق الوسطى على أفرع القصبات الرئيسية قبل حدوثه على الأوراق السفلى. بينما يظهر اصفرار على الأوراق الطرفية الموجودة على الأفرع الثانوية، ويزحف هذا اللون حتى أنه يمكن رؤيته من السطح السفلى من الورقة.

القمح، الشعير والأرز: يظهر باصفرار يتحول إلى اللون البنى على حواف النصل فى الأوراق القاعدية تتجه إلى الداخل، مع أصفرار المناطق المجاورة من نصل الورقة. وتظهر

أعراض نقص البوتاسيوم فى الأراضى الثقيلة نظرا لعدم الاهتمام بالتسميد البوتاسى لهذه المحاصيل فى مثل هذه الأراضى.

الذرة: أول أعراض النقص هى قصر السلاميات، وبالتالى تقزم النباتات، ويميل لون حواف الأوراق السفلى إلى اللون البرونزى أو الأصفر، ويكون هذا التحول مستمرا من قمة الورقة إلى قاعدتها، ثم تجف وتموت هذه الحواف. ويظهر نقص البوتاسيوم على الكيزان فى صورة ضمور الحبوب فى الصفوف العليا من الكوز. كما لوحظ أعراض نقص البوتاسيوم على أصناف الهجن عالية الإنتاج فى مناطق كثيرة من مصر وذلك لعدم قدرة التربة على توفير الاحتياجات العالية لهذه الأصناف فى الوقت المناسب.

الفول البلدى ،الفول السودانى، البرسيم ومحاصيل الخضر البقولية: اصفرار فى حواف الأوراق السفلية، يتحول اللون الأصفر إلى اللون البنى وبعدها تتساقط هذه الأوراق، وتظهر فى المراحل الأولى للنمو فى شكل بقع غير منتظمة باللون البنى. وتكون الأوراق غير مثبتة جيدا على الساق. وتكون البذور مجعدة وغير منتظمة، كما يتأخر النضج، ويلاحظ أعراض نقص البوتاسيوم على المحاصيل البقولية فى المناطق ذات الإنتاج المرتفع، حيث إن احتياجات النبات منه عالية وهذا لايتوفر فى التربة.

القطن: تظهر الأعراض الأولية فى شكل ما يسمى « صدأ القطن » على صورة تبقع أبيض مصفر بين العروق على الأوراق السفلى، وتموت الأنسجة المصابة بالبقع عند مراكز البقع، وفى نفس الوقت تظهر حروق عند قمم الأوراق وحول الحواف وبين العروق، وتنكسر القمم والحواف، وتنثنى لأسفل، ومع تقدم حالة النقص يتحول لون الورقة إلى البنى المصفر، ثم يسود وتتمزق وتسقط. كما يتوقف نمو الساق والأفرع الجانبية وتنكسر وتسقط، كذلك يتوقف نمو اللوز وتفتحه وتنخفض قيمة التيلة.

البطاطس: تظهر النموات الخضرية بلون باهت، ويبدأ ظهور الأعراض على الأوراق السفلية، ويتغير لون الورقة ابتداء من قمة الورقة وحوافها فى اتجاه العرق الوسطى، ثم تصفر أجزاء الورقة بين العروق وتمتلىء بمساحات ذات لون بنى دلالة على موت الأنسجة، ثم تزحف الأعراض حتى تشمل الورقة كلها.

نماذج لأعراض نقص البوتاسيوم على بعض النباتات صفحة ٤٦٥ - ٤٦٦

الأسمدة المحتوية على البوتاسيوم

الأسمدة البوتاسية المعروفة والمستخدمة هى :

١ - **كلوريد البوتاسيوم:** يُعتبر من أرخص الأسمدة البوتاسية، ويرجع ذلك لقلة تكاليف إنتاجه، ويحوى ٦٠٪ أوكسيد بوتاسيوم K_2O، ٤٧,٥٪ كلوريد ومن ٢,٨- ٢,٩ ٪ كلوريد صوديوم. والملح فى صورته النقية يكون على صورة بلورات بيضاء، ولكن عادةً يكون لون السماد بين الأبيض والأحمر حسب الخام المصنع منه السماد، علماً بأن اللون ليس له تأثير على السماد. وهذا السماد كامل الإذابة فى الماء، وعند إضافة السماد للتربة يحدث إدمصاص لأيون البوتاسيوم على أسطح الغرويات الأرضية، وبالتالى يحفظ من عملية الغسيل، ويُمتص فى صورة أيون بواسطة الجذور. ويعتبر هذا السماد متعادل فى تأثيره فى التربة حيث لايسبب أى حموضة أو قاعدية لها. وهذا السماد ملاءم لمعظم المحاصيل وخاصة بنجر السكر، وأيضا لمعظم الأراضى عدا الأراضى المتأثرة بالأملاح بسبب ارتفاع محتواه من الكلوريد، لكن هناك بعض المحاصيل مثل: التبغ والبطاطا يتأثر جودة محصولها بزيادة الكلوريد، ولذا يفضل استخدام كبريتات البوتاسيوم فى تسميدها.

٢ - **كبريتات البوتاسيوم:** ملح هذا السماد عبارة عن بلورات بيضاء ويحتوى من ٤٨٪ إلى ٥٢٪ K_2O، ١٨٪ كبريت، أيضاً هذا السماد كامل الذوبان فى الماء ويعتبر سماد ممتاز من ناحية ملاءمته لكل أنواع الأراضى والمحاصيل، ويعتبر هذا السماد مصدراً لعنصر الكبريت. ويستخدم للمحاصيل الحساسة للكلوريد مثل: التبغ والبطاطا والفواكه والخضروات. وأيضاً يستخدم فى تسميد المحاصيل المنزرعة فى الأراضى المتأثرة بالأملاح أو الزراعات المحمية حيث إن تراكم الكلوريد فى هذه الأراضى يزيد من مشاكلها.

٣ - **نترات البوتاسيوم:** سماد أبيض يميل إلى اللون الأسمر ويعتبر من الأسمدة المركبة الجيدة لكونه بجانب احتوائه على ٤٦٪ K_2O فهو يحتوى أيضاً على ١٣ - ١٤٪ نيتروجين.

٤ – **كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم:** توجد العديد من الأسمدة التى تحتوى على كل من البوتاسيوم والماغنسيوم فى صورة كبريتات. وتنتج هذه الأسمدة بكميات تجارية فى أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية، وتحوى هذه الأسمدة على حوالى ٢٢ – ٣٠٪ K_2O، ١٠ – ١٩٪ MgO، ١٦ – ٢٣٪ كبريت. وهذه الأسمدة يوصى باستخدامها خاصة فى الأراضى الحامضية والتى تعانى من نقص فى الماغنسيوم، وأيضاً للمحاصيل التى تحتاج البوتاسيوم بكمية كبيرة مثل: البطاطس، الفواكه، الخضراوات، وأشجار الغابات.

طريقة وميعاد إضافة السماد:

كما سبق ذكره فإن هذه الأسمدة ذائبة فى الماء إلا إنها أبطأ فى حركتها من الأسمدة النتراتية خاصةً فى الأراضى الثقيلة، حيث يحدث لها إدمصاص على أسطح الغرويات الأرضية وأحياناً تثبيت. وبناء على قابلية هذه الأسمدة للذوبان فيجب مراعاة إضافتها بعيداً عن البذور وخاصةً عند استعمال كمية كبيرة منها. ونتيجة لعدم حساسية البادرات للبوتاسيوم كما هو الحال بالنسبة للنيتروجين والفوسفات فإن طريقة إضافتها سواء كانت نثراً أو بطريقة التلقيم أو التكبيش أو الخطوط تعطى نفس النتيجة تقريباً إلا فى الأراضى الفقيرة فيفضل طريقة النثر لرفع درجة الخصوبة. ومن ناحية ميعاد الإضافة، تمتاز هذه الأسمدة بإمكان استعمالها قبل وأثناء الزراعة، وذلك لعدم تعرضها للفقد كثيراً، أو التثبيت كالأسمدة النيتروجينية وخاصةً فى الأراضى الثقيلة، ووجد أن نثر هذه الأسمدة مبكراً قد يفيد بعض المحاصيل مثل: الفول السودانى وذلك نتيجة حركتها الجزئية لأسفل مما يعطى فرصة أكبر لامتصاصها بواسطة جذور النبات.

الكبريت Sulphur

الكبريت فى الأرض Sulphur in Soil

يوجد الكبريت فى التربة الزراعية فى الصورة المعدنية والصورة العضوية، حيث يصل الكبريت إلى التربة، إما فى صورة مخلفات زراعية، أسمدة معدنية، مع مياه الأمطار، أو مع المكونات المعدنية للتربة والناتجة من عمليات التجوية للصخور الغنية فى الكبريت والناتجة من النشاط البركانى. ويمكن توضيح هذه المصادر بشىء من التفصيل:

الكبريت المعدنى فى التربة:

يوجد فى تركيب بعض المعادن الأرضية ومنها البيريت Pyrite FeS_2- الكالكوبيريت (Chalcopyrite (Cu FeS_2خاصةً فى الأراضى الغدقة، فى حين يوجد الجبس أو كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ فى المناطق الجافة، ويزداد تراكم الكبريت مع بعض مركبات الكبريتات لعناصر الماغنسيوم والصوديوم.

الكبريت العضوى:

يعتبر الكبريت العضوى هو الصورة الأكثر وجوداً فى الطبقة السطحية من الأرض الزراعية، حيث تُعتبر المادة العضوية مصدراً رئيسياً للكبريت فى الأرض الزراعية وخاصةً فى المناطق الرطبة، ويوجد الكبريت فى تركيب الأحماض الأمينية مثل: السيستين – السستئين والمثيونين، وهذه المكونات تتحلل بفعل الكائنات الأرضية وينطلق منها الكبريت المعدنى فى عملية تُعرف بعملية المعدنة Mineralization للكبريت.

الكبريت المضاف للتربة مع مياة الأمطار والأنهار:

كنتيجة لاحتراق المركبات الكبريتية كالفحم والمواد البترولية، وأيضاً مع الأبخرة الناتجة من النشاط البركانى تنطلق بعض الأكاسيد الكبريتية مثل: أكسيد الكبريت SO_2 إلى الهواء الجوى. وهذه الغازات تصل إلى الأرض مرة أخرى عن طريق مياه الأمطار أو مياه الأنهار، كذلك يمكن للنبات امتصاص الكبريت على هذه الصورة (SO_2). علماً

بأنه إذا زاد تركيز هذه الغازات فى الهواء الجوى عن حد معين قد يؤدى إلى أضرار كبيرة بالنباتات النامية بهذه المناطق خاصةً إذا كانت هذه المناطق ممطرة: حيث تكون الأمطار حامضية التأثير مما يُضر بالنباتات، وخير مثال على ذلك تلف مساحات واسعة من الغابات المتاخمة للمناطق الصناعية فى أوروبا نتيجة لهذه الأمطار الحامضية.

دورة الكبريت فى الطبيعة:

يمثل شكل (٦-٦) التحولات المختلفة للكبريت فى الأرض، وهذه التحولات ناتجة من العديد من العمليات المختلفة والتى تشمل:

١ - معدنة الكبريت العضوى:

يُعتبر الكبريت العضوى فى حينه صورة غير ميسرة للنبات. وبتحلل المادة العضوية وحدوث عملية المعدنة للكبريت يتحول إلى كبريتيد الهيدروجين، ثم إلى كبريتات. ومن ثم يصبح فى صورة صالحة للنبات. وعملية معدنة الكبريت مثلها مثل عملية معدنة النيتروجين تتوقف على نسبة الكربون إلى الكبريت C/S ratio فى المادة العضوية بالأرض، حيث وجد أن عملية المعدنة تسود إذا كانت هذه النسبة أقل من ٢٠٠، بينما إذا زادت عن ٤٠٠ يحدث تمثيل Immobilization للكبريت الذائب فى المحلول الأرضى داخل أجسام الكائنات الأرضية الدقيقة والقائمة بعملية التحلل، فى حين تتساوى عملية المعدنة للكبريت مع عملية التمثيل لنفس العنصر إذا انحصرت نسبة الكربون إلى الكبريت ما بين ٢٠٠ و٤٠٠. ويمكن توضيح عملية المعدنة هذه بأن الكبريت يوجد فى المركبات العضوية فى صورة مجموعة السلفاهيدريل SH-، وبعملية المعدنة ينفرد الكبريت فى صورة H_2S، وتحت الظروف الهوائية سرعان ما يتأكسد إلى الكبريتات SO_4^{2-}، بينما تحت الظروف اللاهوائية يتأكسد H_2S إلى الكبريت العنصرى (S) بواسطة بكتريا ذاتية التغذية الكيماوية Chemotrophic sulphur bacteria مثل Biggiatoa, Thiothrix وتحت الظروف الهوائية تقوم نفس البكتريا بأكسدة الكبريت العنصرى (S) إلى حمض الكبريتيك H_2SO_4، كما يمكن أيضاً للكبريت العنصرى (S) أن يتأكسد بواسطة البكتريا الذاتية التغذية الكيماوية مثل Thiobacillus ويمكن تمثيل تلك العملية بالمعادلة التالية:

$$2H_2S + O_2 \Rightarrow 2H_2O + 2S + E$$

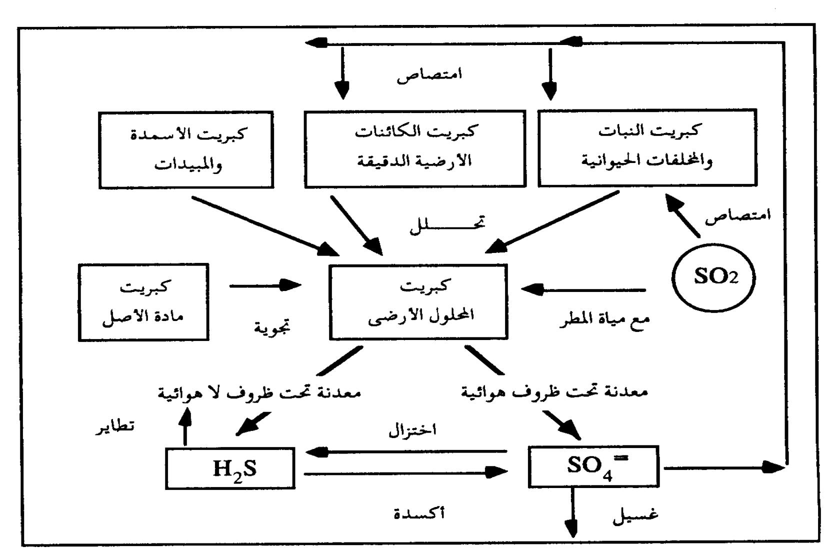
$$2S + 3O_2 + 2H_2O \Rightarrow 2H_2SO_4 + E$$

$$\text{net: } 2H_2S + 4O_2 \Rightarrow 2H_2SO_4 + E$$

وهنا يجب ملاحظة أن ناتج عملية الأكسدة للكبريت هو تكوين حمض الكبريتيك الذى يؤدى إلى زيادة حموضة الأرض، وهذه العملية تحدث أيضاً عند إضافة الكبريت للأراضى القاعدة بغرض خفض رقم الـ pH لها.

أيضاً فى الأراضى الغدقة والتى تحتوى على كبريتور الحديد FeS وعند توافر ظروف التهوية الجيدة يحدث أكسدة لهذه المركب، ويتكون الكبريت العنصرى والذى سرعان ما يتأكسد إلى الكبريتات، ويتم هذا التأكسد كيميائياً أو بواسطة الكائنات الدقيقة حسب المعادلة التالية:

$$2FeS + 2H_2O + O_2 \Rightarrow 2Fe(OH)_2 + S$$



شكل (٦-٦): دورة الكبريت في الطبيعة

ويؤدى غمر الأرض بالماء إلى نشوء ظروف التهوية السيئة، وبالتالى تسود ظروف الاختزال، ويتم اختزال الكبريتات بواسطة بكتريا من جنس Desulfovibrio إلى كبريتور الأيدروجين H_2S ويتحد جزء منه مع الحديد ويتكون كبريتور الحديد والجزء الآخر يمكن أن يحدث له فقد إلى الغلاف الجوى.

٢ - أكسدة الكبريت:

من دورة الكبريت نجد أنه بعد حدوث عملية المعدنة للكبريت يتحول إلى H_2S تحت الظروف اللاهوائية، ويمكن أن يُفقد جزء من الكبريت الأرضى على هذه الصورة للغلاف الجوى. بينما تحت الظروف الهوائية يتكون أنيون الكبريتات SO_4^{2-}، وهذا الأنيون متحرك فى التربة لزيادة قابلية ذوبان أملاحه فى التربة، وعلى ذلك من المتوقع حدوث فقد للكبريت من التربة على هذه الصورة عن طريق غسيل هذا الأنيون مع مياه الصرف. وتعتبر الكبريتات هى الصورة التى يمتص الكبريت عليها، وبعد امتصاص النبات للكبريتات يحدث اختزال لها وتدخل فى تكوين المركبات العضوية التى يدخل الكبريت فى تكوينها. أيضاً يمكن أن يحدث تمثيل للكبريت داخل أجسام الكائنات الدقيقة الموجودة بالأرض، ثم يعود الكبريت العضوى مرة أخرى للأرض مع المخلفات النباتية والحيوانية وتعاد الدورة مرة أخرى.

٣ - كبريت الغلاف الجوى:

كذلك توضح الدورة أن من مصادر الكبريت الأرضى الكبريت الموجود فى الهواء الجوى على صورة أكاسيد كبريتية والتى تصل إلى الأرض إما بطريقة مباشرة مع مياه الأمطار أو الأنهار، أو بطريقة غير مباشرة حيث يستطيع النبات الاستفادة من هذه الصورة مباشرةً بامتصاص SO_2 عن طريق الأوراق، وبعد ذلك يصل الكبريت للأرض مع المخلفات النباتية.

أيضاً يجب ذكر أن من المصادر الأخرى للكبريت بالأرض الأسمدة التى تحوى عنصر الكبريت مثل الأسمدة النتروجينية والفوسفاتية وأسمدة أخرى، كذلك يضاف للأرض فى صورة مُبيدات فطرية وخلافه.

تفاعلات الكبريت فى التربة :

مما سبق نجد أن الصورة المعدنية للكبريت سواء الناتج من عمليات التجوية لمادة الأصل أو من عملية معدنة الكبريت العضوى أو من إضافة الأسمدة هى الكبريتات SO_4^{2-} . وهذه الصورة تتعرض لتفاعلات مختلفة بالتربة، وبالتالى قد توثر هذه التفاعلات سلبياً على الكمية الميسرة من هذا العنصر للنبات وأهم هذه التفاعلات ما يلى :

أ – تفاعلات الادمصاص :

تتعرض أيونات الكبريتات إلى تفاعلات التبادل الأنيونى ومنها الادمصاص ويتوقف ذلك على توافر المعادن الأرضية أو الغرويات التى تحمل شحنة موجبة، مثل معادن من نوع ١ : ١ ومنها الكاؤلينيت، كذلك يحدث ذلك على أسطح الأكاسيد السداسية للحديد والألومنيوم. وبصفة عامة تزداد عملية الادمصاص هذه فى الأراضى الحامضية، وذلك لأن مع انخفاض رقم الـ pH للأرض تكتسب الغرويات الأرضية ومنها الأكاسيد السداسية شحنة موجبة وهى شحنة مخالفة للكبريتات، وبالتالى يحدث الادمصاص. كذلك وجد أن هناك تنافساً بين أنيونات الفوسفات والكبريتات على مواقع الادمصاص على الغرويات الأرضية، وبالتالى يمكن القول بإن الاستخدام الزائد من الفوسفات يؤدى إلى حدوث فقد فى الكبريت من الأرض عن طريق الغسيل فى صورة كبريتات .

ب – ترسيب الكبريتات :

فى الأراضى الجافة وشبه الجافة يتعرض الكبريت للترسيب على هيئة أملاح الكبريتات لأيونات موجبة الشحنة مثل : الكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم وذلك حسب سيادة الكاتيون فى الوسط، وبغض النظر عن درجة ذوبان هذه الأملاح إلا إنها تُعتبر مصدراً جيداً للكبريت بالنسبة للنبات . بينما تحت الظروف سيئة التهوية يحدث الترسيب فى صورة كبريتور، مثل كبريتور الحديد (FeS) .

الكبريت فى النبات Sulphur in Plant

يتوزع الكبريت توزيعاً منتظماً بين الأعضاء والانسجة المختلفة للنبات، فهو أحد مكونات بعض الأحماض الأمينية مثل السيستين والسستيئنين، وهى أحماض أمينية أساسية فى تركيب البروتينات والثيامين (Thiamine (vitamin B1، والبيوتين Biotin

وهما هرمونان مهمان للنبات. كذلك يدخل الكبريت فى تكوين الجليكوسيدات مثل: السنجرين الذى يعطى الرائحة والطعم الخاصين لبعض الأنواع النباتية كالخردل والبصل والثوم. والجزء الأعظم من الكبريت يوجد فى بروتين الكلوروبلاست Chlorplasts والذى يحتوى على الكلوروفيل، وعند نقص الكبريت يتأثر تكوين الكلوروبلاست، وبالتالى تظهر الأوراق شاحبة اللون. ويتراوح المحتوى الكلى من الكبريت فى أنسجة النبات ما بين ٠,٢٪ إلى ٠,٥٪ كبريت.

يمتص النبات الكبريت بواسطة الجذور على صورة كبريتات وبواسطة الأوراق على صورة ثانى أكسيد الكبريت SO_2 سرعان ما تُختزل إلى مجموعة السلفاهيدريل SH- لتكوين المركبات العضوية المختلفة وأهمها الأحماض الأمينية، وبالتالى البروتينات. ويمكن إيجاز خطوات اختزال الكبريتات وتكوين الأحماض الأمينية كما يلى:

أولاً: تختزل الكبريتات ويتكون الحمض الأمينى السيستين Cysteine كما فى المعادلة:

$$\mathbf{H_2SO_4 + ATP + 8H + acetyl\ serine \Rightarrow}$$

$$\mathbf{cysteine + acetate + 3H_2O + AMP + P \sim P}$$

ومن المعادلة نجد أن عملية اختزال الكبريتات يلزمها طاقة، وهذه الطاقة يكون مصدرها مركبات الفوسفور الحاملة للطاقة مثل: أدينوزين تراى فوسفات ATP، والهيدروجين كمختزل.

ثانياً: يتحد ٢ جزىء من السيستئين ويتكون السيستين Cystine كما فى المعادلة:

COOH | H_2N—CH | CH_2— S (H H) S — CH_2 | CH—NH_2 | COOH

$\xrightarrow{-2H}$

COOH | H_2N—CH | CH_2— [S - S] — CH_2 | CH—NH_2 | COOH

2 x Cystein ⟶ Cystine + 2H

S --- S bond

أعراض نقص الكبريت :

تتشابه أعراض نقص الكبريت إلى حد كبير مع أعراض نقص النيتروجين، إذ تتراكم الأحماض الأمينية والمركبات الأزوتية الأخرى داخل النباتات التى تعانى نقصاً من الكبريت، ويعزى ذلك إلى احتمال بطء معدل تخليق البروتينات فى هذه النباتات بالمقارنة بالنباتات التى يتوفر لها كفايتها من الكبريت. وتتلخص أعراض نقص الكبريت بإصفرار عام للنموات الخضرية وخاصةً الأوراق والعروق، فالأوراق يكون لونها أفتح من باقى أنسجة الورقة وتظل الورقة غضه ولا تجف حتى بتقدم العمر، وتصبح السيقان ضعيفة وقصيرة ومتقزمة. ويمكن التميز بين أعراض نقص الكبريت وأعراض نقص النيتروجين من موضع ظهور الأعراض على الأوراق، حيث تظهر أعراض نقص الكبريت على الأوراق الحديثة أولاً؛ وذلك لأنه عنصر غير متحرك داخل النبات، فى حين تظهر أعراض نقص النيتروجين على الأوراق المسنة حيث أنه من العناصر المتحركة فى النبات.

نماذج لأعراض نقص الكبريت على بعض النباتات صفحة ٤٦٧-٤٦٨

الأسمدة المحتوية على الكبريت

ونادراً ما تظهر حالات نقص الكبريت على النباتات نتيجة لوصول الكبريت إلى الأرض بطريقة غير مباشرة مع كثير من الأسمدة مثل: السوبر فوسفات، وكبريتات الامونيوم وكبريتات البوتاسيوم، كذلك فى صورة بعض المبيدات الفطرية وخلافه، بالإضافة إلى إضافته لعلاج مشاكل القلوية فى بعض الأراضى على صورة جبس زراعى. وفى حالة ظهورها تكون فى الأراضى البعيدة عن البحار أو المناطق الصناعية أو فى بعض المناطق الرطبة غزيرة المطر. وجدول (٦-٢) يبين أهم الأسمدة التى تحتوى على الكبريت والتى يمكن استخدامها لتعويض النقص منه فى الأرض.

جدول (٦-٢) : يبين أهم الأسمدة المستخدمة والتي تحتوي علي الكبريت

السماد	٪ للكبريت (S)	٪ للعناصر الرئيسية الأخرى
كبريتات الماغنسيوم اللامائية ($MgSO_4$)	٢٦,٥	MgO ٪ ٣٣,٠
كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2 SO_4$	٢٤,٠	N ٢١,٠
كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم ($K_2SO_4.MgSO_4$)	١٦,٠ – ٢٢,٠	٢٦,٠ – ٣٠,٠ ٪ K_2O
كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4	١٨,٠	K_2O ٪ ٥٠,٠
الجبس $2H_2O, CaSO_4$	١٨,٠	CaO ٪ ٣٢,٠
السوبر فوسفات $2CaSO_4.Ca(H_2PO_4)_2$	١٦,٠	١٨,٠ ٪ P_2O_5، ٢٠٪ CaO
كبريتات الأمونيوم والنترات $(NH_4)SO_4.2NH_4NO_3$	١٥,٠	N ٪ ٢٦,٠

الكالسيوم Calcium

الكالسيوم فى الأرض Calcium in Soil

يوجد الكالسيوم بتركيز مرتفع فى القشرة الأرضية بالمقارنة بباقى العناصر المغذية الأخرى باستثناء الأكسجين والحديد حيث تكون نسبته حوالى ٣٫٦٤٪، بينما تكون نسبته فى التربة الزراعية حوالى ١٫٥٪ ويتواجد الكالسيوم فى التربة فى عدة صور تختلف درجة صلاحيتها بالنسبة للنبات وهذه الصور هى:

أ - معادن حاملة للكالسيوم:

يدخل الكالسيوم فى تركيب العديد من المعادن السيليكاتية مثل: الفلسبارات Feldspars و Amphiboles ومركبات الفوسفات مثل: مجموعة الأباتيت، وكربونات الكالسيوم المختلفة مثل: الكالسيت $CaCO_3$ والدولوميت $CaCO_3 . MgCO_3$، وتعتبر المركبات الأخيرة ذات تأثير كبير فى الأراضى الجيرية، حيث يرتفع تركيز الكالسيوم فى هذه الأراضى إلى نسبة تتراوح بين ١٠ - ٧٠٪ كالسيوم.

وتختلف الأراضى فيما بينها اختلافاً كبيراً فى محتواها من الكالسيوم، ويرجع ذلك إلى مادة الأصل الناشئة منها هذه الأرض كذلك على قابلية المعادن الحاوية للكالسيوم على التجوية والذوبان ومدى تعرض هذه الأراضى للأمطار. وتعتبر الأراضى الموجودة فى المناطق الجافة وشبه الجافة غنية فى الكالسيوم وذلك لوفرة المركبات المعدنية المترسبة والتى يدخل فى تركيبها الكالسيوم مثل الكالسيت، والدولوميت، والجبس، والأباتيت وغيرها من المعادن الأولية والثانوية، مع ملاحظة أن معدل تحرر الكالسيوم من هذه المركبات بطىء جداً لارتفاع رقم الـ pH فى هذه المناطق، وتعتبر الأراضى المصرية غنية فى الكالسيوم نظراً لزيادة محتواها من المعادن الحاملة له حيث تتراوح نسبة كربونات الكالسيوم فى أراضى الوادى والدلتا ما بين ٢-٣٪، بينما الأراضى الجيرية والتى توجد بمساحات واسعة فى الساحل الشمالى الغربى وبعض المناطق فى سيناء وأراضى الهضبة الشرقية المتاخمة لوادى النيل وأيضاً فى بعض مناطق الاستصلاح فى غرب النيل تكون

نسبة كربونات الكالسيوم بها من ١٠ – ٦٠٪. فى حين نجد فى المناطق الرطبة والأراضى الحامضية يكون محتواها من الكالسيوم منخفض جداً بالمقارنة بأراضى المناطق الجافة وذلك لتعرض الأراضى فى الحالة الأولى للأمطار مما يؤدى إلى غسيل الكالسيوم من على أسطح التبادل للغرويات الأرضية ويحل محله أيون الأيدروجين مما يؤدى إلى زيادة حموضة هذه الأراضى. وتعتبر درجة ذوبان المركبات الحاوية للكالسيوم ومنها الكالسيت ذات أهمية من حيث تغذية النبات أو من حيث حموضة وقاعدية الأرض. فالكالسيت من المركبات القليلة الذوبان حيث إن درجة ذوبانه فى الماء قليلة (١٠ – ١٥ جزء فى المليون). لكن بانخفاض رقم الـpH سواء بزيادة وجود غاز ثانى أكسيد الكربون CO_2 أو إضافة الأسمدة ذات التأثير الحامضى مثل كبريتات الأمونيوم (ينتج من عملية التأزوت للأمونيوم أيونات الأيدروجين) كذلك إضافة المادة العضوية، كل ذلك يساعد فى ذوبان الكالسيت كما فى المعادلة التالية:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \Rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

بينما يكون تأثير أيون الأيدروجين كما يلى:

$$CaCO_3 + 2H^+ \Rightarrow Ca^{2+} + H_2O + CO_2$$

وبالتالى يمكن أن يتحرر أيون الكالسيوم نتيجة تأين البيكربونات، أيضاً يمكن أن تتكون البيكربونات الناتجة من تأين حمض الكربونيك الناتج من العمليات الحيوية بالتربة مثل تنفس الجذور والكائنات الأرضية وأيضاً الناتج من تحلل المادة العضوية.

ب – الكالسيوم المدمص (المتبادل):

يوجد الكالسيوم مدمصاً على أسطح الغرويات الأرضية سواء المعدنية منها أو العضوية، ويعتبر الكالسيوم المدمص ذو أهمية كبيرة فى المحافظة على بناء جيد للتربة حيث يشجع أيون الكالسيوم على تكوين التجمعات الأرضية مما يزيد من المسافات البينية بين الحبيبات خاصة فى الأراضى الطينية وبالتالي تزداد عمليات التهوية مما يؤثر إيجابياً على كفاءة امتصاص الجذور للأيونات. وتختلف كمية الكالسيوم المتبادل فى الأرض حسب نوع معادن الطين السائدة فى هذه الأرض، فمثلاً نجد أن الأراضى الغنية فى معادن من نوع ٢ : ١ يمثل الكالسيوم المتبادل منها حوالى ٨٠٪ من السعة التبادلية

الكاتيونية لهذه الأرض. فى حين نجد أن هذا الرقم ينخفض إلى ٢٠٪ فى الأراضى الغنية بمعدن الكاؤلينيت وهو من المعادن من نوع ١ : ١ . ويعتبر الكالسيوم المتبادل رصيداً للكالسيوم الذائب فى المحلول الأرضى لوجود حالة من الاتزان بينهما علماً بأنه لايمكن القول بأن كل الكالسيوم المتبادل ميسر للنبات وذلك لأن قوة ربط أيون الكالسيوم على سطح الغروى هى التى تحدد ذلك.

جـ - الكالسيوم الذائب :

معظم الأراضى المعدنية يحتوى محلولها الأرضى على كمية كافية من الكالسيوم لسد حاجة المحاصيل المختلفة والنامية فيها. بينما قد تعانى الأراضى العضوية من نقصه نتيجة لادمصاص الكالسيوم على الدبال وتكوين معقدات عضوية للكالسيوم غير ذائبة. وفى الأراضى الحامضية نتيجة لإحلال الأيدروجين محل الكالسيوم على مواقع التبادل فإنهه يحدث للكالسيوم غسيل من المحلول الأرضى. وتتأثر الكمية الذائبة فى المحلول الأرضى بعوامل مختلفة من أهمها : رقم الـpH حيث يحدث ترسيب للكالسيوم فى صورة مركبات عديدة بارتفاع هذا الرقم وعلى الرغم من ذلك تحتوى هذه الأراضى على كمية كافية من الكالسيوم صالحة لتغذية النبات. بينما فى الأراضى الحامضية يقل الكالسيوم الذائب وسبق تفسير سبب ذلك. أيضاً لنوع معدن الطين وكمية المادة العضوية تأثير كبير على الكمية الذائبة.

الكالسيوم فى النبات Calcium in Plant

يوجد الكالسيوم فى معظم النباتات بكميات كبيرة وخاصة فى الأوراق. وتحتوى الأوراق المسنة على الكمية العظمى من الكالسيوم عكس الفوسفور والبوتاسيوم اللذين يوجد معظمهما فى الأوراق الحديثة، ويُثبت معظم الكالسيوم فى جدر الخلايا على صورة بكتات الكالسيوم Calcium pactate والتى تكون الصفيحة الوسطى وهذا ضرورى فى الانقسام الميتوزى للخلية، كما يعمل الكالسيوم على المساعدة فى ثبات الجدر الخلوية وكذلك فى الحفاظ على تركيب الكروموسومات. وفى كثير من الأنواع النباتية يوجد الكالسيوم على هيئة بلورات غير ذائبة من أكسلات الكالسيوم. وقد يُكون الكالسيوم أملاحاً مع الأحماض العضوية الأخرى كما يحتمل دخوله فى التفاعلات الكيميائية مع جزيئات البروتين. ويمثل أيون الكالسيوم أحد المكونات العامة

للعصير الخلوى، وأيضاً يعتبر هذا العنصر ضرورى لاستكمال واستمرار القمة المرستيمية، حيث وجد أنه بغياب الكالسيوم يقل نشاط الانقسام المباشر وقد يقف تماماً. كذلك يساعد الكالسيوم فى نشاط كثير من الإنزيمات مثل Phospholipase, Argin, Kinase, Adenosine Triphosphates كما وجد أنه يعمل على معادلة الأحماض العضوية بالخلايا مما يقلل من سميتها.

أعراض نقص الكالسيوم على النبات:

يعتبر الكالسيوم من العناصر غير المتحركة داخل النبات حيث قليلاً ما يعاد توزيعه داخل الخلايا النبات إذا ما قل تركيزه أو انعدم وجوده حول الجذور. فقد تحتوى الأوراق المسنة لنبات ما على كميات كبيرة من الكالسيوم المخزون، فى حين تعانى الأوراق الحديثة لنفس النبات نقصاً فى هذا العنصر. وعموماً قلما تظهر أعراض نقص الكالسيوم على النباتات النامية فى الحقل وخاصة فى أراضى المناطق الجافة وشبه الجافة ومنها الأراضى المصرية، بينما العكس يمكن حدوثه بظهور أعراض النقص على النباتات النامنية فى الأراضى الحامضية. ويمكن إيجاز أهم الأعراض كما يلى:

١ - تبدأ ظهور الأعراض على الأوراق الحديثة، حيث تكون هذه الأوراق مشوهة وصغيرة ولونها الأخضر الداكن غير عادى.

٢ - الأوراق تصبح مجعدة ويحدث لها التفاف إلى أسفل وتظهر الحواف متموجة وغير منتظمة، ويحدث أن تصبح الأوراق طرية نتيجة إحلال جدر الخلايا ويقف نمو البرعم الطرفى، مع حدوث تكسير فى السويقات الصغيرة.

٣ - يحدث ضعف أو تلف ملحوظ فى الجذور، ويمكن أن يحدث تعفن لها، كذلك يحدث ضعف عام للسيقان.

٤ - تظهر نقط جافة على البراعم الطرفية ويحدث تساقط للأزهار.

٥ - يسبب نقص الكالسيوم ظهور مرض يسمى Btter pit على ثمار التفاح والذى يتميز بظهور بقع بنية صغيرة غائرة ومنتشرة على كافة سطح الثمرة. أما ثمار الطماطم فتصاب بمرض يسمى بعفن الطرف الزهرى للثمرة Blossom-end rot حيث تتهدم الخلايا وتتعفن فى الجهة السائبة من الثمرة.

نماذج لأعراض نقص الكالسيوم على بعض النباتات صفحة ٤٦٩-٤٧٠

الأسمدة المحتوية على الكالسيوم:

يدخل الكالسيوم فى تركيب كثير من الأسمدة كما هو موضح فى جدول (٦-٣).

جدول (٦-٣): الأسمدة المحتوية على الكالسيوم

السماد	الرمز الكيميائى
سوبر فوسفات عادي	$Ca(H_2PO_4)_2 . CaCO_3$
سوبر فوسفات ثلاثى	$Ca(H_2PO_4)_2$
نترات النشادر الجيرى	$NH_4NO_3 . CaCO_3$
نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2$
نترات الجير المصرى	$Ca(NO_3)_2$

الماغنسيوم Magnesium

الماغنسيوم فى الأرض Magnesium in Soil

يوجد الماغنسيوم فى الأراضى بكميات مختلفة، وذلك حسب مادة الأصل الناشئة منها وكمية ونوع الطين السائد فى هذه الأراضى. والماغنسيوم يوجد فى الأراضى الرملية بتركيز حوالى ٠,٠٥٪ بينما يرتفع هذا الرقم فى الأراضى الطينيـةح إلى ٠,٥٪. ويرجع ارتفاع كمية الماغنسيوم فى الأراضى الطينية لسهولة تجوية معادن الـ Ferromagnesian، مثل البيوتيت Biotite، السيربنيت Serpenite، الهورنبلند Hornblende والأوليفين Olivine. كذلك لدخوله فى تركيب بعض المعادن الثانوية ومنها الكلوريت Chlorite، الفيرميكيولايت Vermiculite، الإيلليت Illite والمونتيموريللونيت Montmorillon-ite. ويوجد الماغنسيوم فى بعض الأراضى فى صورة كربونات ماغنسيوم $MgCO_3$، والدولوميت $CaCO_3$. $(MgCO_3)$ وفى الأراضى الجافة وشبه الجافة يوجد الماغنسيوم بكمية كبيرة فى صورة كبريتات ماغنسيوم $MgSO_4$. ويتشابه الماغنسيوم مع البوتاسيوم من حيث توزيعه فى التربة ويمكن تقسيم الصور التى يوجد عليها الماغنسيوم فى الأرض كما يلى:

١ - الماغنسيوم غير المتبادل:

ويشمل كل الماغنسيوم الموجود بالمعادن الأولية ومعظم الماغنسيوم الموجود بالمعادن الثانوية. وبصفة عامة فإن هذه الصورة ليست ذات أهمية من حيث انطلاق الماغنسيوم للنبات. لكن فى حالة وجود المعادن ذات القدرة العالية على التمدد فى الأرض بكميات كبيرة، فإن هذه الصورة تعتبر ذات أهمية بالنسبة للنبات لسهولة تحرر الماغنسيوم من الطبقات الداخلية بجانب الخارجية، علماً بأن معدل انطلاق الماغنسيوم يكون قليل بالمقارنة باحتياجات النبات من هذا العنصر.

٢- الماغنسيوم المتبادل:

يوجد الماغنسيوم متبادلاً على أسطح الغرويات الأرضية سواء كانت معدنية أو عضوية، ويمثل الماغنسيوم المتبادل حوالى ٥٪ من الماغنسيوم الكلى فى الأرض، ويشغل

من ٤ – ٢٠٪ من السعة التبادلية الكاتيونية أى يكون أقل من الكالسيوم والذى يمثل ٨٠٪، وأكثر من البوتاسيوم والذى يمثل حوالى ٤٪ فقط من السعة التبادلية الكاتيونية (Mengel and Kirkby سنة ١٩٨٧). وتزداد كمية الماغنسيوم المتبادل فى الأراضى الملحية والقلوية والأراضى الغنية فى كربونات الماغنسيوم، فى حين تكون كمية الماغنسيوم المتبادل فى العديد من الأراضى الزراعية منخفضة وخاصة الواقعة فى المناطق الاستوائية حيث زيادة معدل سقوط الأمطار وانخفاض الـ pH وقلة السعة التبادلية يؤدى إلى زيادة ذوبان الماغنسيوم وبالتالى فقده مع مياه الصرف. وتعتبر هذه الصورة ذات أهمية كبيرة بالنسبة للنبات حيث بانخفاض تركيز الماغنسيوم فى المحلول الأرضى يحدث انطلاق للماغنسيوم المتبادل لرفع التركيز مرة أخرى وبالتالى تعتبر هذه الصورة بجانب الصورة الذائبة ذات درجة صلاحية عالية للنبات. وتعتبر الأراضى فقيرة فى محتواها من الماغنسيوم الصالح إذا قلت كمية الماغنسيوم المتبادل عن ٣– ٤مجم/ ١٠٠ جم تربة، علماً بأن الحد الحرج هذا يختلف باختلاف قوام التربة حيث يكون مرتفعاً فى الأراضى الغنية بالطين خاصة من نوع ٢ : ١ والمادة العضوية.

٣ – الماغنسيوم الذائب :

يوجد الماغنسيوم ذائباً فى المحلول الأرضى بتركيز يتراوح بين ٢–٥ ملليمول، ويمكن أن يختلف هذا المدى اختلافاً كبيراً ويكون غالباً بين ٠,٢ – ١٥٠ ملليمول، وبصفة عامة يكون التركيز فى المحلول الأرضى للأراضى الحامضية منخفض (١,٩ ملليمول) بينما فى الأراضى الجيرية يرتفع هذا التركيز إلى ٧ ملليمول (Mngel and Kirkby سنة ١٩٨٧). وفى الأراضى الرملية وكذلك أراضى المناطق الرطبة تكون كمية الماغنسيوم الذائبة فى المحلول الأرضى منخفضة وذلك لقلة كمية الماغنسيوم المتبادل بهذه الأراضى. ويؤدى إضافة كميات كبيرة من الأسمدة غير الحاوية على الماغنسيوم إلى زيادة انخفاض كمية الماغنسيوم الذائب، حيث يتحرر الماغنسيوم المتبادل عن طريق التبادل الأيونى بينه وبين الكاتيون المضاف مما يؤدى إلى سهولة فقد الماغنسيوم بالغسيل خاصة وأن أملاحه لأيونات الكبريتات، والنترات، والفوسفات والكلوريد تكون سهلة الذوبان.

وتتأثر درجة صلاحية الماغنسيوم للامتصاص بواسطة النبات على محتوى المحلول الأرضى من الكاتيونات الأخرى مثل الكالسيوم والبوتاسيوم بالإضافة إلى درجة حموضة

التربة، حيث وجد أن أعراض نقص الماغنسيوم تكون قليلة الظهور على النباتات التى تنمو فى وسط رقم حموضته أعلى من ٥,٠ وهذا يعنى أن هذا المدى هو الأمثل لصلاحية الماغنسيوم. وعند انخفاض رقم الـpH تقل كمية الماغنسيوم الممتصة نتيجة لزيادة تركيز أيونات الأيدروجين والألومنيوم. وفى الأراضى شديدة الحموضة يتحد الماغنسيوم مع أكاسيد الحديد والألومنيوم، وعلى هذا يمكن إضافة أسمدة الماغنسيوم للتقليل من سمية الألومنيوم فى هذه الأراضى. وفى الأراضى ذات رقم الـpH المرتفع يحدث تنافس فى امتصاص أيون الكالسيوم مع أيون الماغنسيوم مما يقلل من معدل امتصاص الماغنسيوم. كذلك يؤدى التسميد الزائد بالأسمدة الأمونيومية مثل كبريتات الأمونيوم ونترات الأمونيوم والأسمدة البوتاسية مثل كلوريد البوتاسيوم تُزيد من ظهور أعراض نقص الماغنسيوم.

وهناك علاقة بين كمية الماغنسيوم الممتص ووجود البوتاسيوم فى التربة. حيث وجد أن النباتات تمتص كمية من الماغنسيوم أقل من البوتاسيوم وذلك على الرغم من وجود الماغنسيوم المتبادل والذائب بالتربة بكمية أكبر من البوتاسيوم. يوجد حالة من التضاد بين البوتاسيوم والماغنسيوم ولكن فى مدى محدد من العنصر الميسر والذى يظهر عنده أعراض نقص هذا العنصر. وتحت هذه الظروف فإن زيادة الكمية المضافة من أحد العنصرين يؤدى إلى ظهور أعراض نقص العنصر الآخر. وعادةً يكون محتوى النبات من الماغنسيوم مرتفعاً عند نقص البوتاسيوم حيث تحاول النباتات المحافظة على أن يكون مجموع الكاتيونات K,Ca, Mg, Na موجوداً بكمية ملائمة وثابتة. كما وجد أيضاً أن إضافة الأسمدة البوتاسية لتصحيح نقصه فى النبات يؤدى إلى نقص تدريجى فى محتوى النبات من الماغنسيوم. وعلى ذلك يجب ملاحظة أنه فى حالة ظهور أعراض نقص كلٍ من الماغنسيوم والبوتاسيوم، فمن المستحسن أن تضاف أسمدة الماغنسيوم أولاً لعلاج نقص الماغنسيوم فى النبات ثم تضاف الأسمدة البوتاسية.

اختبارات التربة للماغنسيوم

تعتبر طريقة تقدير الماغنسيوم المتبادل بواسطة محلول خلات الأمونيوم المتعادل أو محلول كلوريد البوتاسيوم من أهم الطرق لتحديد خصوبة التربة من هذا العنصر.

وطبيعى أن تختلف القيم المحددة لمستويات الخصوبة تبعا لقوام التربة كما يتضح من جدول (٦-٤).

جدول (٦-٤) : الحدود الحرجة للماغنسيوم في التربة

نوع الأرض	تركيز الماغنسيوم (ppm)		
	منخفض	متوسط	مرتفع
رملية ورملية طميية	حتى ٢٥	٢٦ - ٥٠	> ٥٠
طميية رملية	حتى ٣٦	٣٧ - ٧٠	> ٧٠
طميية وطينية	حتى ٦٠	٦٠ - ١٢٠	> ١٢٠

الاستخلاص بواسطة ٠,٠٢٥ ع كلوريد الكالسيوم

عن Saalbach وآخرون سنة ١٩٧٠.

الماغنسيوم فى النبات Magnesium in Plant

يحتل الماغنسيوم مركز جزىء الكلوروفيل فى النبات شكل (٦-٧). وهى الصبغة الخضراء التى تمكن النبات من استخدام الطاقة الشمسية فى إنتاج المادة العضوية بالنبات حيث يدخل حوالى ١٥ - ٢٠٪ من الماغنسيوم الكلى فى النبات فى تركيب الكلوروفيل. وعلى ذلك يعتبر الماغنسيوم مهماً لإتمام عملية التمثيل الضوئى، ويعتبر منشطاً للعديد من الأنظمة الإنزيمية الخاصة بميتابوليزم الكربوهيدرات، وتمثيل الأحماض النووية، كما يعمل الماغنسيوم على تعزيز امتصاص وانتقال الفوسفات ويساعد فى حركة السكريات داخل النبات. كذلك وجد أنه فى حالة نقص الماغنسيوم يقل تمثيل البروتينات مما يعوق النمو فى النبات.

أعراض نقص الماغنسيوم على النبات :

لايقتصر ظهور أعراض نقص الماغنسيوم على النباتات النامية فى الأراضى الفقيرة فى الماغنسيوم فقط بل يمكن ظهورها على النباتات التى تنمو فى الأراضى العادية. وذلك

فى حالة زراعة المحاصيل عالية الإنتاج ومع التكثيف الزرعى فإن النباتات تمتص كمية كبيرة من الماغنسيوم مما يؤدى إلى استنزافه من هذه الأراضى وظهور أعراض النقص. وتختلف أعراف نقص الماغنسيوم باختلاف النبات، ويتميز هذا العنصر بحركته العالية

شكل (٦-٧): نموذج لجزيء الكلوروفيل

داخل النبات وإمكانية استخدامه من قِبل النباتات عدة مرات. وعلى ذلك تبدأ ظهور الأعراض على الأوراق المسنة أولاً ويمكن إيجاز أهم الأعراض فيما يلى:

١ - ظهور اصفرار متداخل مع اللون الأخضر للورقة على هيئة شريط، ويكون ذلك على الأوراق المسنة، ومع تقدم الإصابة يحدث أن تجف الانسجة وتموت. وأهم ما يميز هذه الأعراض ظهورها أولاً على طرف (قمة) الورقة ثم تنتشر على حواف وبين عروق الأوراق.

٢ - قد يحدث التواء لحواف الأوراق إلى أعلى، وعند استمرار النقص تتحول البقع إلى

اللون الرمادى ثم إلى اللون البنى وتسقط الأوراق قبل موعدها .

٣ – فى بعض نباتات الخضر تظهر الأعراض على عدة صور منها الاصفرار على هيئة بقع بين العروق وظهور لون رخامى مع لون برتقالى خفيف وأيضاً فى صورة لون أحمر أرجوانى .

٤ – الأغصان تبدو ضعيفة وتكون عرضة للإصابة بالفطريات، وينخفض النضج الطبيعى للأوراق .

نماذج لأعراض نقص الماغنسيوم على بعض النباتات صفحة ٤٧١-٤٧٢

الأسمدة المحتوية على الماغنسيوم

بصفة عامة تحتوى معظم الأراضى الطينية على كمية كافية من الماغنسيوم ومنها أراضى الوادى والدلتا فى مصر، لكن فى ظل التكثيف الزراعى وإضافة كميات كبيرة من الأسمدة البوتاسية وأسمدة الأمونيوم يمكن أن تظهر أعراض نقص الماغنسيوم على النباتات النامية فى تلك الأراضى . هذا بالإضافة إلى أن أراضى مناطق الاستصلاح ومعظمها أراضى رملية نجد أنها تعانى من نقص الماغنسيوم . ويمكن علاج نقص الماغنسيوم على النباتات بإضافة أحد الأسمدة المحتوية على الماغنسيوم الموضحة بجدول (٦-٥) .

جدول (٦-٥) : الأسمدة المعدنية المحتوية على الماغنسيوم

السماد	MgO%	٪ للعناصر الأخرى
كبريتات الماغنسيوم		
$Mg\ SO_4$	٣٣	٢٦,٥ ٪ كبريت
$7H_2O.\ MgSO_4$	٢٧	٢٢٪ كبريت
$H_2O.\ Mg\ SO_4$	١٦	١٣٪ كبريت
النيتروماغنسيوم Nitromagnesia	٧,٠	٢٠٪ نيتروجين + ١٥٪ كبريت
كبريتات الماغنسيوم والبوتاسيوم $(K_2SO_4, MgSO_4)$	١٠-١٨	١٦-٢٢٪ كبريت

الفصل السابع

العناصر المغذية الصغرى

Micronutrients Elements

الزنك	Zinc
الحديد	Iron
المنجنيز	Manganese
النحاس	Copper
البورون	Boron
الموليبدنم	Molybdenum
الكلورين	Chlorine

المركبات الكيلاتية Chelating Compounds

العناصر المغذية الصغرى

Micronutrients Elements

سبق أن ذكرنا فى الفصل الرابع أن العناصر الغذائية الضرورية للنبات عددها ستة عشر عنصراً تم دراسة القسم الأول منها والخاص بالعناصر الكبرى والتى يحتاجها النبات بكمية كبيرة، أما القسم الثانى فهو العناصر الصغرى، وهى العناصر التى يحتاجها النبات بكمية قليلة وتشمل: الزنك – الحديد – المنجنيز – البورون – النحاس – الموليبدنم والكلوريد، وهناك عناصر تحتاجها بعض النباتات دون غيرها وبكميات قليلة أيضاً مثل الكوبلت والصوديوم، بالإضافة إلى السيليكون، والعناصر الصغرى توجد فى النبات بكمية قليلة بالمقارنة بالعناصر الكبرى، فمثلاً لو علمت أن إنتاج أحد محاصيل الحبوب هو ١٠ طن (٥ طن حبوب و٥ طن قش) فإنه من الممكن أن يحتوى على حوالى ١٠٠ كجم من النيتروجين، بينما نفس الكمية من المحصول يمكن أن تحوى على ٢٥٠ جم زنك فقط أى أن كمية النيتروجين تزيد عن كمية الزنك بحوالى ٤٠٠ مرة تقريباً، وعلى الرغم من صغر هذه الكمية فى النبات، إلا أنها تكفى لإعطاء النمو الأمثل للنبات والمحصول، وتكمن فاعلية العناصر الصغرى فى زيادة نمو ونشاط النباتات إلى قدرتها على تغيير تكافؤها داخل النبات مما يزيد من نشاط الإنزيمات اللازمة للعمليات الحيوية المختلفة.

من الملاحظ أن كمية العناصر المغذية سواء كانت كبرى مثل: النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم أو صغرى مثل: الحديد والزنك والمنجنيز فى الأراضى المصرية فى تناقص مستمر، وذلك لعدة أسباب منها:

١ – التكثيف الزراعى وذلك بزراعة أكثر من محصول على نفس المساحة من الأرض خلال العام، أو زراعة الأصناف من المحاصيل الحقلية والبستانية عالية الإنتاجية وقصيرة العمر مما يؤدى إلى استنزاف كمية كبيرة من العناصر المغذية.

٢ – عدم الاهتمام بإضافة المادة العضوية والأسمدة البلدية والتى تعيد للتربة حيويتها وتعويض ما استنزف منها وتزيد من خصوبتها.

٣ - عدم تعويض التربة عما فقدته من العناصر خاصة بعد حجز كميات طمى النيل أمام السد العالى، كذلك ارتفاع مستوى الماء الأرضى فى بعض مناطق الجمهورية مما أثر على الصفات الطبيعية والكيماوية للأرض.

٤ - اكتشاف طرق أكثر دقة لأختبارات التربة وتحاليل النبات، وتحديد مجموعة من المعايير الثابتة التى بها يمكن توضيح نقص العناصر المغذية وخاصة الصغرى منها.

بالإضافة للنقاط السابقة يزداد نقص العناصر الصغرى فى الأراضى المصرية وبالتالى الطلب على استخدامها إلى:

أ - ارتفاع معدلات التسميد بالعناصر الكبرى والذى أدى إلى زيادة المحصول وبالتالى زيادة الكمية المستنزفه من العناصر الصغرى من الأرض.

ب - التطور والتقدم فى صناعة أسمدة العناصر الكبرى أدى إلى استخدام الأسمدة بدرجة عالية من النقاوة بدلاً من الأسمدة التجارية التى كانت تحوى العناصر الصغرى كشوائب وأدى هذا إلى ظهور أعراض نقص العناصر الصغرى.

جـ - ارتفاع رقم الـ pH للأراضى المصرية.

د - التوسع فى زراعة الأراضى الصحراوية قليلة الخصوبة.

ويمكن توضيح ما تساهم به أسمدة العناصر الكبرى والمادة العضوية من العناصر الصغرى عند إضافتها إلى التربة من القيم الموضحة فى جدول (٧ - ١)، ومن الطبيعى أن تختلف القيم الموجودة عند إجراء التحليل الكيميائى لعينة فردية من سماد معين، وأيضاً تختلف هذه القيم تبعاً للمادة الخام المصنع منها هذا السماد.

ومن فحص القيم الموضحة بالجدول نجد أن أسمدة العناصر الكبرى تساهم بجزء قليل جداً من الاحتياجات السمادية للنباتات المختلفة من العناصر الصغرى، فمثلاً عند إضافة اليوريا كمصدر للنيتروجين لمحصول معين بمعدل ١٥٠ كجم/فداناً، تكون كميات الزنك والمنجنيز والبورون المضافة للتربة هى ٧٥ مليجرام لكل منهم، بينما تكون الكمية بالنسبة للموليبدنيم هى ١٠٥ مليجرام، وعلى الجانب الآخر فإن إضافة طن واحد على سبيل المثال من السماد البلدى للفدان تضيف كميات كبيرة إلى حد ما من العناصر

الصغرى، حيث تكون الكميات المضافة من النحاس ١٠ جم ومن الزنك ٤٠ - ٥٠جم، ونجد الكمية من المنجنيز ٢٠٠ جم، ومن البورون ١٧ جم، ومن الموليبدنم ٢٠٠ مليجرام، وتعتبر هذه الكميات مهمة لرفع خصوبة التربة من العناصر الصغرى عند الإضافات المتتالية من السماد البلدى للتربة الزراعية.

ولما كانت مساحات التوسع الأفقى تقع فى نطاق الأراضى الرملية والجيرية والتى تفتقر إلى كثير من العناصر المغذية، ومع توفر المعلومات عن أعراض نقص العناصر الصغرى فإن الطلب على استخدام الأسمدة التى تحتوى على العناصر الصغرى قد ازداد، ويجب مراعاة أن العناصر الصغرى عند استعمالها كأسمدة للنباتات تعتبر سلاحاً ذا حدين، فنقصها يؤدى إلى فقد المحصول وزيادتها تؤدى إلى حدوث سمية للنبات والحيوان فضلاً عن إحداث تلوث للبيئة مما يؤثر على صحة الإنسان.

جدول (٧ – ١) : محتوي بعض الأسمدة المعدنية والعضوية المهمة من العناصر الصغري بالجزء في المليون (ppm)

العنصر ⇐ السماد ⇓	نحاس	زنك	منجنيز	بورون	موليبدنيم
الأسمدة النيتروجينية :					
كبريتات الأمونيوم	أثار – ٠,٥	٠,٣٣	٧٠	٦,٠	٠,١
اليوريا	صفر – ٣,٦	٠,٥	٠,٥	٠,٥	٠,٧
نترات الكالسيوم والأمونيوم	أثار – ١٨,٠	٨,٠	١٠ – ٥٠	أثــار	—
الأسمدة الفوسفاتية :					
السوبر فوسفات الأحادى	٢٦,٠	٦٠ – ١٦٠	٧٠ – ٢٧٠	١٠	٣,٠
السوبر فوسفات الثلاثى	٢ – ١٢	٥٠ – ١٠٠	١٦٠ – ٢٤٠	٥٣٠	٩,٠
خبث المعادن القاعدى	١٠ – ٨٠	٥ – ٣٠	*	٣٣	١٠,٠
صخر الفوسفات	٦ – ١٠	٢٥ – ١٤٠	١٣٠٠٠٠	١٥	٦,٠
أسمدة البوتاسيوم :					
كلوريد البوتاسيوم	٣,٠	٣,٠	٨,٠	١٤,٠	٠,٢
كبريتات البوتاسيوم	٥ – ١٠	٢,٠	٢,٢ – ١٣,٠	٤,٠	٠,٢
الأسمدة المركبة :					
فوسفات الأمونيوم	٣,٠ – ٤,٠	٨٠	١٠٠ – ٢٢٠	—	٢,٠
سماد الإسطبل (سماد بلدى) Farmyard Manure	١٠	٤٠ – ٢٥٠	٢٠٠	١٧	٠,٢
أسمدة المخلفات النباتية Compost	٣٠٠ – ٦٠٠	٣ – ١٣	٤٠ – ٦٠	١٥	٢,٠

عن الـ FAO سنة ١٩٨٤.

*** قيم المنجنيز في الخبث ٢٨٠٠٠ – ٦٨٠٠٠ (ppm)**

وهناك حدود معينة من تركيز هذه العناصر فى التربة حتى تفى هذه الأرض بتوفير الكمية الملائمة من العناصر للنبات وجدول (٧ – ٢) يوضح الحدود الحرجة لتركيز هذه العناصر حسب طريقة استخلاصها من التربة

جدول (٧ – ٢): حدود تركيز العناصر الصغري في الأرض تبعاً لطريقة الاستخلاص والتي يظهر عندها النقص مع ذكر بعض العوامل المؤثرة علي تيسر هذه العناصر (عن Landon سنة ١٩٨٤)

العنصر	العوامل المؤثرة على تيسر العنصر	محلول الاستخلاص	التركيز (ppm)
الحديد Fe	pH، البوتاسيوم، المنجنيز، الكالسيوم، الماغنسيوم، الفوسفور، النحاس، الموليبدنم والزنك.	خلات الأمونيوم (pH4.8)	٢
		DTPA + Ca Cl_2 (pH7.3)	٢,٥ – ٤,٥
الزنك Zn	pH، النحاس، النيتروجين، الفوسفور، والكالسيوم.	١ر٠ مول حمض هيدروكلوريك	١,٠ – ٧,٥
		Dithizone + خلات الامونيوم	٠,٣ – ٢,٣
		EDTA + كربونات الأمونيوم	١,٤ – ٣,٠
		DTPA + كلوريد كالسيوم pH7.3	٠,٥ – ١,٠
المنجنيز Mn	pH، المادة العضوية، البوتاسيوم، الموليبدنم، الفوسفور، الحديد، النحاس والزنك.	٠٥ر٠ مول حمض هيدروكلوريك + ٠٢٥ر٠ مول حمض كبريتيك	٥ – ٩
		١ر٠ مول حمض فوسفوريك مع ٣ مول فوسفات أحادى الأمونيوم	١٥ – ٢٠
		Hydroquinone + خلات أمونيوم الماء	٢٥ – ٦٥ ٢

تابع جدول (٧ – ٢): حدود تركيز العناصر الصغري في الأرض تبعاً لطريقة الاستخلاص والتي يظهر عندها النقص مع ذكر بعض العوامل المؤثرة علي تيسر هذه العناصر (عن Landon سنة ١٩٨٤)

العنصر	العوامل المؤثرة على تيسر العنصر	محلول الاستخلاص	التركيز (ppm)
النحاس Cu	النيتروجين، الحديد، الماغنسيوم، الموليبدنم، الفوسفور والزنك.	خلات الامونيوم (pH4.8)	٠,٢
		٠,٥ مول EDTA	٠,٧٥
		٠,٤٣ حمض نيتريك	٣ – ٤
		١ مول حمض هيدروكلوريك	١٠٠
		٠,٠١ حمض هيدروكلوريك	٠,٠٩ – ١,٠٦
البرورون B	قوام التربة، pH، الكالسيوم البوتاسيوم.	الماء الساخن	٠,١ – ٠,٧
الموليبدنم Mo	pH ، الحديد، المنجنيز، الفوسفور، الكبريت والنحاس.	أوكسلات الامونيوم (pH 3.3)	٠,٠٤ – ٠,٢

الزنـــك Zinc

الزنك فى الأرض Zinc in Soil

يوجد الزنك فى الأرض على عدة صور منها :

- داخل التركيب الكيميائى لبعض المعادن مثل : معادن الـ Ferromagnesium والأوجيت Augite ، الهورنبلند Hornblende والبيوتيت Biotite .
- فى صورة ملح مثل : كبريتيد الزنك Sphalarite (ZnS)؛ الزنكيت Zincite (ZnO) كربونات الزنك Smithsonite ($ZnCO_3$)، وسيليكات الزنك Willemite ($ZnSiO_3$ and $ZnSiO_4$) .
- الزنك (Zn) المدمص على معقدات التبادل بالأرض .
- الزنك الموجود فى صورة معقدات عضوية، ومنه الذائب وغير الذائب .
- الزنك الذائب فى الماء، ويشمل أيون الزنك Zn^{2+} والموجود مع المادة العضوية فى صورة معقدات ذائبة .

معظم الزنك الموجود بالأرض يوجد فى تركيب المعادن الأولية، ويرجع انتشار الزنك فى كثير من المعادن الأرضية بسبب إحلاله محل أيون الماغنسيوم أو محل أيون الحديدوز، ومع حدوث التجوية لهذه المعادن يحدث تحرر لجزء من كمية هذا العنصر إلى محلول التربة، مما يكون له تأثيره الإيجابى على تغذية النبات بهذا العنصر؛ علماً بأن الكمية الذائبة تكون قليلة جداً (٠,٠٠٢ – ٢,٠ جزء لكل مليون جزء) .

الكمية الكلية من الزنك فى الأرض :

تختلف الأراضى فى المحتوى الكلى من الزنك اختلافاً كبيراً، حيث يتراوح هذا المحتوى من ١٠ إلى ٣٠٠ جزء فى المليون، وبمتوسط عام ٨٠ جزءاً فى المليون، وبصفة عامة لا تعبر الكمية الكلية من العنصر فى الأرض على مدى حاجة النبات إلى التسميد من هذا العنصر من عدمه، حيث يتوقف ذلك على الكمية الميسرة والصالحة للامتصاص بواسطة النبات .

كمية الزنك الميسرة بالتربة :

تعتبر كلُ من الصورة الذائبة والمتبادلة ذات درجة تيسر مرتفعة للنبات، وإن كان هناك جزء قليل من الزنك غير المتبادل والموجود داخل تركيب المعادن قد لا يفي بحاجة النبات حيث يتحرر بمعدل بطئ أثناء حدوث تجوية لهذه المعادن، وبصفة عامة وفى معظم الأراضى فإن تركيز الكمية الذائبة فى المحلول الأرضى لا تتعدى أجزاء قليلة من المليون، وفى الغالب تكون أقل من واحد جزء فى المليون، وهناك عدة عوامل تؤثر على سلوك ودرجة تيسر الزنك فى الأرض وتشمل :

١ - **رقم الـ pH** : درجة تيسر الزنك تتوقف بدرجة كبيرة على pH التربة، حيث يزداد التيسر بانخفاض الـ pH، ويتضح ذلك فى الأراضى الحامضية، وعلى العكس من ذلك نجد فى الأراضى القاعدية تكون الكمية الميسرة قليلة جداً، حيث وجد أن تركيز الزنك يقل ١٠٠ مرة مع كل وحدة زيادة فى قيمة الـ pH. ويعزى ظهور أعراض النقص للزنك على النباتات النامية فى الأراضى الجيرية إلى هذا السبب بصورة أساسية، وعلى ذلك فأى عامل يؤثر على خفض أو رفع الـ pH من شأنه أن يؤثر على زيادة أو انخفاض درجة تيسر الزنك للنبات، فمثلاً إضافة الجير للأراضى الحامضية يرفع رقم الـ pH، وبالتالى يقلل من تيسر هذا العنصر، بينما الاستخدام المستمر للأسمدة ذات التأثير الفسيولوجى الحامضى مثل كبريتات الأمونيوم يؤدى إلى خفض الـ pH، وبالتالى زيادة تيسر الزنك، وفى بعض الأراضى الحامضية يزداد التيسر لدرجة وصول التركيز لدرجة السمية، وعموماً وجد أن أفضل رقم pH للتربة يكون عنده الزنك ميسر هو فى مدى من ٥,٥ - ٦,٥ .

٢ - **المادة العضوية** : مع تحلل المادة العضوية بالتربة تنطلق المركبات العضوية والتى تعمل عمل المركبات المخلبية مما تزيد من تيسر الزنك، وأوضحت كثير من الدراسات بأن الأراضى الفقيرة فى المادة العضوية تعانى من نقص فى الزنك الميسر، وتزداد الكمية الميسرة فى نفس الأرض مع إضافة المادة العضوية، وقد يختلف تأثير المادة العضوية على تيسر الزنك وذلك حسب نوع المركب الناتج من التحلل والمرتبط مع الزنك، فالأحماض العضوية ذات الوزن الجزيئى المنخفض مثل حمض الفولفيك Fulvic acid تكون معقدات زنك ذائبة فى الماء، بينما المركبات ذات الوزن الجزيئى المرتفع

مثل اللجنين والمركبات التى تحوى أحماض الدباليك Humic acids تكون معقدات غير ذائبة فى الماء.. ويلاحظ أن إضافة المادة العضوية للأراضى القاعدية والجيرية يزيد من تيسر الزنك بها سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة عن طريق خفض رقم الـ pH للأرض.

٣ - **كربونات الكالسيوم**: كثير من الأبحاث أوضحت بأن هناك تأثيراً سلبياً لكربونات الكالسيوم على تيسر الزنك فى التربة الزراعية، وهناك العديد من التفسيرات التى توضح هذا التأثير ومنها:

أولاً: تأثير غير مباشر وذلك لتأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم pH الأرض.

ثانياً: قد يحدث تفاعل بين الكربونات والزنك وخاصة فى حالة كربونات الماغنسيوم (الماغنيسيت $MgCO_3$ والدولوميت $MgCa(CO_3)_2$) وذلك بإحلال الزنك محل الماغنسيوم الموجود بهذه المركبات.

ثالثاً: حدوث ادمصاص للزنك على أسطح كربونات الكالسيوم، وبالتالى تقل الكمية الميسرة.

٤ - **تأثير قوام التربة**: الاراضى الخفيفة خشنة القوام قدرتها على ا لاحتفاظ بالزنك قليلة، وعلى ذلك فإن الأراضى الرملية يعانى النبات النامى فيها من نقص الزنك، بينما العكس فى الأراضى الطينية ناعمة القوام، ولقد وجد أن لبعض معادن الطين القدرة على ادمصاص الزنك على أسطحها، بل أكثر من ذلك فإنه قد يحدث تثبيت للزنك ويصبح فى صورة غير صالحة للنبات، فمعادن البروسيت Brucite والفيرميكيولايت Vermiculite، وأيضاً الطين المشبع بالماغنسيوم Mg-Saturated Clay تكون قدرتها على تثبيت الزنك مرتفعة بالمقارنة بمعادن المسكوفيت Mus-covite، البينتونايت Bentonite، الكاؤلينيت Kaolinite، البيروفيلليت Pyrop-hillite، والبيوتيت Biotite فإنها ذات قدرة محدودة على التثبيت، كما تلعب الاكاسيد الحرة فى الأراضى الحامضية دوراً أساسياً فى تقليل درجة تيسر الزنك فى هذه الأراضى.

٥ - **تأثير مستوى الفوسفات فى التربة**: التركيز المرتفع من الفوسفات الذائبة، سواء الموجودة أصلاً بالتربة Native phosphorus أو الناتجة من التسميد الزائد

بالفوسفات يؤدى إلى تأثير عكسى على الزنك كعنصر مغذى للعديد من المحاصيل، ويكون التضاد Antagonistic متفاقماً فى الأراضى الجيرية، وهناك عدة تفسيرات لذلك ذكرها عواد سنة ١٩٨٧ :

أولاً: قد يحدث ترسيب للزنك فى صورة فوسفات الزنك $Zn_3(PO_4)_2$ وهى مركبات قليلة الذوبان، وقد أعتبر هذا المركب هو المسئول عن نقص الزنك الميسر فى كثير من الأراضى.

ثانياً: إن قدرة الفوسفور على زيادة النمو للنبات تفوق كثيراً قدرة الزنك وهذا بالطبع يؤدى إلى انخفاض تركيز الزنك فى النبات وخاصةً فى القمة، كنتيجة لتأثير التخفيف .

ثالثاً: حدوث اضطراب حيوى داخل النبات لعدم حدوث التوازن المطلوب بين العنصرين داخل النبات، أى أن الفوسفور يشجع على ظهور أعراض نقص الزنك بسبب عدم التوازن بين نسبة الفوسفور إلى الزنك P/Zn، وهذا نتيجة اختلاف معدل حركة الزنك والفوسفور من الجذر إلى القمة.

رابعاً: فسر بعض الباحثين بأن السبب يرجع إلى تكوين معقدات بين الزنك والبروتين داخل المجموع الجذرى وأن الفوسفور يشجع على تكوين هذه المعقدات.

خامساً: حدوث إعاقة لامتصاص الزنك نتيجة لزيادة الكالسيوم فى المحلول الأرضى مع إضافة الأسمدة الفوسفاتية.

٦ - **تأثير الأسمدة الأزوتية**: أشارت نتائج كثير من الباحثين بأن إضافة الأسمدة النيتروجينية تؤدى إلى نقص الزنك الميسر للنبات، وبالتالى تظهر أعراض نقص هذا العنصر على النباتات، وهناك عدة تفسيرات منها: أن الزنك يتحد مع النترات ويتكون نترات الزنك وهو مركب عالٍ فى درجة ذوبانه فى الماء، وبالتالى يتحرك مع مياه الصرف، ويحدث غسيل للزنك من منطقة نمو الجذور، ومن جهة أخرى فإن نترات الزنك المتكونة تكون مصدراً لإمداد النبات بالزنك الميسر، أما التفسير الآخر هو قابلية النبات لتثبيت الزنك فى المجموع الجذرى وذلك عن طريق تكوين

معقدات مع البروتينات غير متحركة Immobile Zn-protein complexes، وبالتالى تتقيد حركة الزنك داخل النبات وتظهر الأعراض على النموات الحديثة، وتجدر الإشارة أن الأسمدة النيتروجينية ذات التأثير الحامضى تزيد من تيسر الزنك وذلك نتيجة لخفض رقم الـ pH والعكس مع الأسمدة القاعدية التأثير.

اختبارات التربة للزنك :

يوجد العديد من المحاليل المختلفة والتى تستخدم لاستخلاص الكمية الصالحة من عنصر الزنك والموجودة فى التربة، وأكثر المستخلصات انتشاراً مدونة فى جدول (٧ – ٣)، ويمكن استخدام أى مستخلص من هذه المستخلصات لتقدير كمية الزنك الصالحة للنبات، ولكن قد يفضل محلول معين على محلول آخر فى أرض معينة، ومثال ذلك وجد أن المستخلصات الحامضية تكون أقل نجاحاً فى أراضى المناطق الجافة وشبه الجافة والتى قد تكون جيرية غالباً، فى حين نجد أن المستخلصات الكيلاتية (المخلبية) تكون أكثر نجاحاً فى كثير من الأراضى وذلك لإمكانية ضبط رقم pH المستخلص حسب رقم الـ pH الطبيعى للتربة، وتعتبر طريقة الاستخلاص بواسط مركب DTPA من أكثر الطرق انتشاراً فى دول العالم والتى تستخدم لتقييم التربة الزراعية من حيث كمية الزنك الميسر بها.

بالنسبة للحدود الحرجة للزنك Critical Limits فى التربة وبمعنى آخر القيم المتحصل عليها من المستخلصات السابقة والتى يظهر عندها نقص الزنك فى التربة تختلف تبعاً لنوع المستخلص وحتى داخل الطريقة الواحدة تختلف القيمة حسب نوع المحصول، ويرجع ذلك لاختلاف المحاصيل فى درجة حساسيتها لهذا العنصر، بل أكثر من ذلك لنفس المحصول وبنفس الطريقة تختلف القيمة من أرض إلى أخرى وذلك لوجود العديد من العوامل التى تغير من ذرجة تيسر العنصر، وعلى ذلك عند تحديد القيمة الحرجة والمحددة لابد من ذكر الطريقة، نوع المحصول ونوع الأرض وفى نفس الوقت ذكر الظروف البيئية، وعموماً أظهرت كثير من الأبحاث أن القيمة الحرجة والتى يظهر عندها نقص الزنك فى معظم الأراضى ولكثير من المحاصيل هى أقل من ٠,٦ جزء فى المليون (DTPA-Zn).

جدول (٧ – ٣): الطرق المختلفة لاستخلاص الزنك الميسر بالتربة

محلول الاستخلاص	نسبة التربة (جم) إلى المستخلص (مل)	زمن الرج (دقيقة)
٠,١ N من حمض الهيدروكلوريك	٢ : ٢٠	٥
٠,٠٥ مولر من EDTA pH 7-9	١٥ : ٧٥	–
0.01% dithizone in CCL_4+ N NH_4 OAc (pH 7.0)	٢,٥ : ٢٥ ٢٥ مل من كل مركب	٦٠
٠,٠٥ N حمض هيدروكلوريك + ٠,٠٢٥ N حمض كبريتيك	٥ : ٢٠	٥
DTPA (0.005 M diethylen triamine penta acetic acid) + 0.1 M triethanolamine + 0.01 M $CaCL_2$	١٠ : ٢٠	١٢٠
٠,٠١ مولر EDTA + مولر كربونات امونيوم (pH 8.5) .	١٠ : ٢٠	٣٠
٢,٠ N كلوريد ماغنسيوم	١٠ : ٥٠	٤٥

بينما لا يكون هناك استجابة واضحة لإضافة الزنك إلى التربة إذا كان تركيز الزنك فى هذا المستخلص هو ١,٠ جزء فى المليون، بينما إذا كانت القيمة محصورة بين ٠,٥ – ١,٠ جزء فى المليون DTPA-Zn لا يكون هناك فائدة مؤكدة من إضافة الزنك للتربة.

الزنك فى النبات Zinc in Plant

الزنك من العناصر الضرورية لنمو النبات، وبالتالى فإنه يوجد فى جميع الأنسجة النباتية ويتجمع بتركيزات مختلفة فى الأجزاء المختلفة للنبات والتى يمكن ترتيبها حسب محتواها كما يلى:

الجذور > السيقان > الأوراق > الثمار

الوظائف الحيوية للزنك Biological Function

الزنك من العناصر المعدنية المهمة لتنشيط كثير من الإنزيمات والخاصة بتمثيل ثانى أكسيد الكربون CO_2. ومن أكثر الإنزيمات التى تنشط فى وجود هذا عنصر الزنك إنزيم Fractose 1.6-bisphosphatase إنزيم الـ Carbonic anhydrase والذى يشجع على تحلل حامض الكربونيك إلى ثانى أكسيد الكربون والماء، وأيضاً عدد من إنزيمات Dehy-drogenases، ويمكن إيجاز أهم الوظائف الحيوية للزنك فى النبات كما يلى:

أ - ضرورى لتخليق الحمض الأمينى التربتوفان Tryptophane والذى يتحول إلى أوكسين auxin وهو عبارة عن Indole acetic acid والذى يساعد على زيادة النمو فى النبات، حيث وجد أن النباتات التى تعانى من نقص الزنك يكون تركيز الاكسين فى الجذور والبراعم قليل جداً.

ب - منشط لانزيمات - Alcohal dehydrogenase - Lactic acid dehydrogenase Glutamic acid dehydrogenase - Carboxypeptidase.

جـ - يلعب دوراً فى تخليق الأحماض النووية والبروتينات.

تركيز الزنك فى النبات Zinc Concentration in Plant

هناك مدى واضح فى تركيز الزنك داخل النباتات والذى يتراوح من إلى ٢٠ إلى ١٠٠ جزء فى المليون، وفى المادة الجافة من ١ إلى ١٠٠٠٠ جزء فى المليون، وهناك عدة عوامل تؤثر على مستوى الزنك فى النبات أهمها:

– **الجزء المأخوذ كعينة**: الأجزاء الحديثة النمو تحتوى على زنك أكثر من الأجزاء المسنة.

– **عمر النبات**: حيث يقل تركيز الزنك بزيادة النبات فى العمر.

– **التداخل بين العناصر Nutrient Interations**: عادة ما يقل تركيز الزنك بزيادة الفوسفور الميسر بالأرض؛ وأيضاً زيادة كل من الحديد والمنجنيز.

يمكن القول بأن تركيز الزنك فى النبات يعكس مدى تيسر الزنك فى التربة النامى بها هذا النبات والظروف البيئية المؤثرة عليه، وعلى ذلك فاختبارات الأنسجة النباتية (تحليل العينات النباتية) تكون معبرةً عن معرفة مدى حاجة النبات إلى التسميد بالزنك من عدمه عندما تؤخذ العينات النباتية من المكان وفى الوقت المناسبان.

المستويات الحرجة للزنك فى النباتات:

تختلف حدود النقص والكفاية وأيضاً حدود السمية للزنك من نبات لآخر، وفى كثير من المحاصيل إذا انخفض التركيز إلى ٢٠ جزءاً فى المليون فى المادة الجافة يكون هناك احتمال بأن النبات عنده مشكلة نقص فى الزنك، بينما إذا انخفض التركيز إلى ١٥ جزءاً فى المليون يكون هناك نقص أكيد فى هذا العنصر.

ومن جدول (٧–٤) يجب الإشارة إلى أن حد «الكفاية» يعنى إنه عند هذا التركيز للعنصر داخل النبات تكون كمية الزنك كافية وملائمة لإعطاء أعلى محصول.

، بينما عند حدى «منخفض» و«مرتفع» يكون هناك مشكلة فى عدم اتزان الزنك مع العناصر الأخرى داخل النبات سواء بالنقص أو بالزيادة على التوالى. أما فى حالة «حد النقص» فهذا يعنى أن هناك تأثيراً على النمو، وطبيعى فإن حد «السمية» لايحتاج إلى تفسير.

وعلى ذلك يمكن تحديد ما إذا كان النبات يعانى من نقص فى عنصر الزنك من عدمه وذلك عن طريق معرفة تركيزه فى الأنسجة النباتية.

جدول (٧–٤) : الحدود الحرجة للزنك في بعض المحاصيل الهامة

المحصول	مرحلة النمو	تركيز الزنك (جزء فى المليون)				
		حد النقص	منخفض	حد الكفاية	مرتفع	حد السمية
الذرة (أوراق)	النمو الخضرى	صفر – ١٠	١١–٢٠	٢١–٧٠	٧١–١٥٠	١٥٠
فول الصويا (أوراق)	النمو الخضرى	صفر–١٠	١١–٢٠	٢١–٧٠	٧١–١٥٠	١٥٠
القمح– الشعير	٨–٣٠سم نمو	صفر–١٠	١١–٢٠	٢١–٤٠	٤١–١٥٠	>١٥٠
القطن	النمو الخضرى	–	–	٢٠–٣٠	–	–
الأرز	النمو الخضرى	صفر–١٠	١١–٢٠	٢١–٥٠	–	–
بنجر السكر	النمو الخضرى	صفر–١٠	١١–٢٠	٢١–٧٠	+٧٠	–
البطاطس	–	–	صفر– ١٦	١٧–٤٠	+٣٠	–
البرسيم الحجازى	–	صفر– ٨	–	–	٩–١٤	–
الطماطم (الأوراق)	–	صفر–١٠	١١–٢٠	٢١–١٢٠	+١٢١	–
الموالح	–	صفر–١٥	١٦–٢٥	٢٦–٨٠	٨١–٢٠٠	>٢٠٠
التفاح (الأوراق)	–	صفر–١٥	١٦–٢٠	٢١–٥٠	+٥١	–
العنب (السويقة)	–	–	صفر–٣٠	٣١ –٥٠	+٥١	–

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣.

حساسية النبات للزنك

هناك اختلاف كبير بين النباتات المختلفة فى درجة حساسيتها للزنك الميسر فى التربة، فمثلاً عند تركيز معين من الزنك الميسر فى التربة قد يعانى نبات معين من نقص الزنك بينما لانجد ذلك مع نباتات أخرى عند نموها فى نفس الأرض عند نفس التركيز. حيث وجد أنه عندما كانت كمية الزنك المستخلصة من التربة بمركب DTPA هى ٠,٨ جزء فى المليون أظهرت نباتات الأرز النامية فى تلك الأرض معاناة نتيجة نقص الزنك، بينما لم تتأثر نباتات القمح النامية فى نفس الأرض (FAO) سنة ١٩٨٣ . وعلى ذلك يمكن القول بإن الأرض التى يظهر فيها أعراض نقص الزنك على نبات معين قد تكون ملائمة لمحاصيل أخرى دون مشاكل من نقص هذا العنصر، وجدول (٧–٥) يوضح درجة حاسية المحاصيل المختلفة لنقص الزنك.

أعراض نقص الزنك على النبات :

قد تظهر أعراض نقص الزنك على النبات إذا انخفض تركيز الزنك فيه عن ٢٠ جزءاً فى المليون، وطبيعى يقل التركيز فى النبات إذا افتقرت التربة النامى بها هذا النبات للكمية الصالحة من الزنك واللازمة لهذا النبات. ويمكن إيجاز العوامل المسببة لظهور أعراض نقص الزنك على النبات فى انخفاض تركيز الزنك الميسر فى التربة والمستخلص بمحلول DTPA عن ٠,٦ جزء فى المليون، وفى الأراضى ذات الـ pH المرتفع، الأراضى ذات المحتوى المنخفض والمرتفع جدا من المادة العضوية، الأراضى الرملية، والأراضى الفقيرة فى المناطق شديدة المطر، والأراضى الموجودة فى المناطق الباردة، وفى حالة إضافة كمية زائدة من الفوسفور وأخيرا الأراضى المضغوطة Compacted soil .

جدول (٧-٥) : حساسية المحاصيل لنقص الزنك

محاصيل حساسة	محاصيل متوسطة الحساسية	محاصيل غير حساسة
الموالح، أشجار الفاكهة المتساقطة، البيكان، العنب، الفاصوليا، فول الصويا، الذرة، الأرز، الكتان والبصل	القطن، البطاطس، الطماطم ، البرسيم الحجازى، البرسيم، بنجر السكر، الذرة الرفيعة، القمح والشعير	البسلة، الأسبرجس الجذر، الحبوب الصغير الفلف والخردل

وفيما يلى الأعراض العامة لنقص عنصر الزنك والتى يمكن تميزها ظاهراً على النبات والتى تظهر على الأوراق الحديثة أولاً نظراً لان الزنك من العناصر غير المتحركة داخل النبات.

١- تبدأ الأعراض بظهور لون أخضر باهت ثم يتحول إلى الأصفر، ثم يتطور إلي بقع يصبح لونها أبيض مع انعكاس الشمس عليها ويكون ذلك جزئياً على الأوراق السفلية المسنة مع شدة النقص، وفى بعض المحاصيل يمكن ظهور بقع بنية تشبه الصدأ.

٢- اصفرار الأوراق وظهور بقع كبيرة وعامة الانتشار على الورق وتكون مميزة بين العروق. وغالباً ما تكون هذه الأعراض على الورقة الثانية أو الثالثة كاملة النضج من القمة.

٣- ظهور أوراق صغيرة الحجم على قمة الساق (حدوث مايعرف بظاهرة التورد).

٤- ظهور النبات متقزماً نتيجة لصغر طول السلاميات بالساق.

٥- حدوث موت للأنسجة المتأثرة بذلك يتبعها موت النبات، ويكون النبات غير مستوى فى استقامته ويتأخر النضج.

٦- تكون الثمار غير طبيعية وصغيرة الحجم مما يؤثر على المحصول. وبصفة عامة تكون

أعراض نقص الزنك واضحة تماماً على بعض المحاصيل مثل الأرز، الذرة، الموالح، العنب والتفاح. ويمكن استعراض أعراض النقص على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية الهامة تحت الظروف المصرية.

الموالح: يبدأ ظهور الأعراض على الأوراق الحديثة، وذلك بظهور العرق الوسطى والعروق الجانبية الرئيسية باللون الأخضر الداكن والذى يمتد مساحته إلى جانبيها أيضاً. بينما يظهر اللون الأخضر الباهت فى المساحات المتبقية بين العروق. ومن الصفات المميزة لنقص الزنك عدم تماثل مساحة نصفى الورقة. وأن الأوراق تكون أقل عرضاً وأيضاً تقل مساحة الأوراق الطرفية وتأخذ شكلاً رأسياً ويصبح طرف النصل مدبباً. وفى نفس الوقت يكون نمو الأفرع فى شكل قائم، وتقل مساحة الأوراق، وتقصر السلاميات بمقدار نقص الزنك مع تساقط كثير من الأوراق الحديثة حتى أن شكل الفرع يصبح كالمكنسة نظراً لتقارب الأوراق من بعضها نتيجة قصر السلاميات. أعراض نقص الزنك يمكن ظهورها فى معظم مزارع الموالح فى مصر، وتزداد فى مزارع الأراضى الرملية أو الخفيفة.

العنب: تتشابه هذه الأعراض إلى حد ما مع أعراض المنجنيز فى زمن ظهورها وصفاتها الأساسية، حيث تظهر الورقة باللون الأخضر الباهت مع ظهور مساحات خضراء، ووجه الاختلاف بينها مع أعراض المنجنيز هو أنها تظهر أولاً على الأوراق الطرفية للأفرع الرئيسية، وكذلك على أوراق الأفرع الجانبية التى تتكون فى الصيف. ولوحظ أن مساحة الورقة يقل بمقدار النقص فى الزنك، وأن الفصوص القاعدية لنصل الورقة تنسحب بعيداً فى اتجاه مضاد لاتجاه الساق أو عنق الورقة، ويصاحب نقص الزنك عدم تماثل نصفى الورقة فى المساحة. ومن الأعراض نقص كمية العقد وعدم انتظام حجم الثمار فى العنقود. ولوحظ ظهور أعراض نقص الزنك بشدة فى معظم مناطق زراعة العنب فى مصر.

ومن الجدير بالذكر أن أعراض نقص بعض العناصر على العنب تختلف من حيث ألوانها حسب الصنف ومدى احتوائه على الصبغات المختلفة. وأيضاً نتيجة لاختلاف الأصناف فى مدى احتياجاتها من العناصر المختلفة، وبالتالى مدى ظهور نقص كل عنصر عليها.

القمح - الشعير والأرز: تكون الأعراض مشابهة لأعراض نقص المنجنيز وذلك بشكل خطوط باهتة اللون على جانبى العروق الوسطى وتنتشر من القاعدة إلى القمة، ويظهر النبات قصيراً، وبصفة عامة تظهر على الحقل مناطق يتفاوت لونها من الأخضر الباهت إلى الأخضر المصفر.

الذرة: وتظهر الأعراض على البادرات النامية فى الأراضى المنخفضة فى محتواها من الزنك الميسر ابتداء من عمر أسبوعين. وتتمثل الأعراض فى ظهور شريط عريض من اللون الأبيض على جانبى العروق الوسطى للأوراق الحديثة، ابتداءً من القاعدة فى اتجاه القمة للورقة، ويكون هذا فى النصف الأسفل للورقة فقط. ويمكن ملاحظته على الورقة الحديثة والخارجة لتوها من محيط الأوراق، ويظل لون العرق الوسطى أخضر داكن، ويقل طول وحجم النبات، ومع تقدم النقص تظهر على الأوراق بقع طولية وغير منتظمة ذات لون رمادى تتخلل اللون الأخضر. ولوحظ ظهور هذه الأعراض فى كثير من مزارع الذرة فى مصر وخاصة الموجودة فى مناطق الاستصلاح.

الفول البلدى والفول السودانى- البرسيم ومحاصيل الخضروات البقولية: لايصل النبات إلى حجمه الكامل، وفى الأوراق العلوية الحديثة تكون المساحات بين العروق صفراء اللون، وقد يتحول اللون الأصفر إلى البنى فى الأوراق الأكبر عمراً، وتكون درجة الاصفرار أكبر، ويكون نصفا الورقة غير متماثلين فى الحجم.

القطن: يبدأ ظهورها فى الأوراق العليا الحديثة، وفى المراحل المبكرة لنمو النبات، حيث يتحول لونها إلى اللون البرونزى مع وجود بقع صفراء بين العروق التى يبقى لونها أخضر، ثم تصبح الورقة رقيقة السمك، وتنثنى حواف الورقة لأعلى مكونة شكل الفنجان. ويظهر النبات قصير نتيجة لقصر السلاميات، وتتقارب الأوراق بحيث يأخذ شكل الشجيرة. وطبيعى أن يؤثر ذلك سلبياً على تكوين الأزهار، وبالتالى اللوز ويقل المحصول؛ فى مصر لوحظ أعراض نقص الزنك فى القطن فى مناطق مختلفة فى مراحل متأخرة من العمر.

البطاطس: تظهر النباتات أصغر حجماً من الطبيعى، الأوراق الحديثة تأخذ الشكل الفنجانى حيث تنثنى حوافها لأعلى وتأخذ وضعاً رأسياً وتكون مساحتها أصغر من الطبيعى، وتقصر السلاميات.

الطماطم: اصفرار مع وجود اللون البنى بالأوراق الطرفية مع تدلى الأوراق لأسفل والتفاف الوريقات لأعلى.

نماذج لأعراض نقص الزنك على بعض النباتات صفحة ٤٧٣، ٤٧٤

الأسمدة المحتوية على الزنك

هناك العديد من المركبات المحتوية على الزنك والتى تستخدم كمصدر لتسميد النباتات النامية فى الأراضى التى تعانى من نقص هذا العنصر. وجدول (٧-٦) يوضح اهم هذه المركبات مع المعدل الأمثل لكل طريقة إضافة، علماً بان طريقة الإضافة ونوع السماد تتوقف على عوامل كثيرة أهمها نوع الارض، وشدة النقص ووقت الإضافة... إلخ. وطرق الإضافة متعددة وهى: الإضافة الأرضية (نثر- تكبيش)، التسميد الورقى(الرش)، تعفير البذور بمسحوق السماد أو نقع البذور فى محلول السماد، عمل جروح فى سيقان الأشجار ووضع قطعة إسفنجية مبللة بمحلول أو عجينه تحوى السماد.

ويجب الإشارة إلى أن خصائص التربة الزراعية تلعب دوراً هاماً فى اختيار نوع السماد وطريقة إضافته. ففى الأراضى الرملية وأيضاً القاعدية يفضل إضافة أسمدة الزنك بطريقة الرش وذلك لتجنب فقد كمية كبيرة منه فى الأرض الرملية عن طريق الغسيل، خاصة عند استخدام كبريتات الزنك والمعروف بدرجة ذوبانه المرتفعة فى الماء، بينما فى الأرض القاعدية تكون الكمية المُثبتة كبيرة. وعلى ذلك يفضل استخدام المركبات المخلبية فى الأراضى القاعدية والجيرية. أما بالنسبة للأراضى المُنزرعة بالأرز يفضل استخدام سماء أكسيد الزنك ZnO على كبريتك الزنك$ZnSO_4$ بالرغم من أن درجة ذوبانه أقل وذلك لحدوث اختزال للكبريتات وينتج غاز كبريتيد الأيدروجينH_2S السام.

جدول (٧-٦): مصادر الأسمدة التي تحتوي علي الزنك والمعدلات المقترحة وطرق إضافتها

مصدر السماد والنسبة المئوية للزنك به	معدلات الإضافة المقترحة (كجم زنك / هكتار)		
	الإضافة نثراً	الإضافة بالتكبيش	تسميد خضرى
كبريتات الزنك $ZnSO_4.7H_2O$ (23%) $ZnSO_4.H_2O$ أكسيد الزنك (36%) ZnO(60-80%	٥–٢٠	٣ – ٥	كل هذه المركبات تستخدم بعدل من ١٥ إلى ٢٥٠ جرام زنك مزابة فى ١٠٠ لتر ماء
زنك مخلبى Chelated Zn أ- مركبات صناعية Na_2-Zn EDTA (14%)	٥–٢٠	٣ – ٥	
ZnHEDTA(8%) Na-ZnNTA (13%)	–	٠,٥ – ١	
ب- مركبات صناعية Zn -Lignin Sulphonate (5%) Zn-polyflavonoid (10%)	–	٠,٥ –٤	

الحـــديد Iron

يصنف الحديد ضمن العناصر الضرورية الصغرى بالنسبة لاحتياجات النبات إليه ولكنه يعتبر من العناصر الكبرى جيوكيميائياً. حيث يوجد ضمن مكونات القشرة الأرضية بكمية كبيرة فهو يحتل المرتبة الرابعة فى نسبته بالقشرة الأرضية (والتى قد تصل إلى حوالى ٥٪) بعد الأكسيجين والسيليكون والألومنيوم.

الحديد فى الأرض Iron in Soil

يوجد الحديد فى الأرض على عدة صور يمكن إيجازها فيما يلى:

- فى تركيب المعادن السليكاتية والتى تعرف باسم الـ Ferromagnesian silicatesمثل الأوليفين olivine ، والهورنبلندHornblende، والبيوتيت Biotite والتى تمثل المصدر الرئيسى للحديد . وأيضاً يوجد ضمن تركيب بعض المعادن الثانوية.

- فى بعض المركبات والتى يكون فيها بتركيز مرتفع كما فى الهيماتيتFe_2O_3 الماجنيتيت Fe_3O_4وهى أكاسيد حديد وكذلك يوجد فى صورة كربونات حديدوز كما هو الحال فى مركب السيدريت $Fe_2(CO_3)_3$ وكربونات الحديديك $Fe_2(CO_3)_3$، سلفيد كما فى البيريتFeS_2 ، والليمونيت$Fe_2O_3.3H_2O$ والذى ربما يتكون كناتج من حدوث عمليتى التادرت Hydration والأكسدة Oxidation لمركب السيدريت

- كمية قللة من الحديد الكلى الموجود بالأرض توجد على صورة متبادلة.

- يوجد الحديد ضمن مكونات بعض المواد العضوية، على هيئة معقدات أو مركبات كيلاتيه وهى مركبات مهمة من ناحية تغذية النبات.

- الحديد الذائب فى المحلول الأرضى منخفض جداً ويشمل بجانب المركبات العضوية، أيون الحديدوز Fe^{+2}، الحديديك Fe^{+3} وأيدروكسيد الحديدوز $Fe(OH)_2$ علماً بأنه فى الأراضى جيدة التهوية قد ينعدم أيون الحديدوز.

الحديد الكلى :

يختلف الحديد عن باقى العناصر الصغرى من حيث كميته بالأرض، حيث يوجد بكمية كبيرة فى معظم أنواع الأراضى لدخوله فى التركيب الكيميائى لكثير من المعادن المكونة للقشرة الأرضية. ومن الطبيعى أن تختلف كميته من أرض إلى أخرى حسب محتوى تلك الأراضى على المعادن الحاملة لهذا العنصر، وكمتوسط عام للأراضى المختلفة يكون الحديد موجود بنسبة ٥٪ على أساس الوزن. وفى الأراضى الغنية بالحديد Ferroginous soils يتواجد الحديد بها بنسبة تفوق ١٠٪ وفى الأراضى الرملية تكون الكمية الكلية قليلة حيث تصل النسبة إلى حوالى ١٪، وتنخفض النسبة عن١٪ فى الأراضى الرملية التى تتعرض للغسيل بواسطة مياه الأمطار. وليس معنى وجود الحديد الكلى بكمية كبيرة فى أرض ما بأن النباتات النامية بتلك الأرض قد لاتعانى من نقص الحديد لأن ذلك يتوقف على الكمية الميسرة من هذا العنصر للنبات.

الحديد الميسر :

تعتبر كمية الحديد الميسرة بالأرض الزراعية قليلة جداً بالمقارنة بكمية الحديد الكلية بنفس الأرض. ويوجد الحديد الميسر (الذائب) فى المحلول الأرضى إما على هيئة صورة معدنية مثل Fe^{+2}, Fe^{+3}, $Fe(OH)_2^{+}$, $FeOH^{+2}$ أو على صورة عضوية ذائبة مثل Fe-organic complexes معقدات الحديد العضوية. ويتوقف ظهور أعراض نقص للحديد على النباتات على الكمية الميسرة والتى تتحكم فيها عدة عوامل يمكن إيجازها فيما يلى :

١- **رقم الـ pH** : تعتمد درجة ذوبان الحديد بدرجة كبيرة على pH الوسط، لدرجة أنه يحدث انخفاض فى تركيز الحديد الذائب قدره ١٠٠٠ ضعف مع كل زيادة فى الـpH قدرها وحدة واحدة. وبالتالى يكون من الواضح أن تيسر الحديد للنبات يقل بدرجة عنيفة مع ارتفاع رقم الـ pH . وعلى ذلك يكون نقص الحديد الميسر فى الأراضى الجيرية فى الغالب نتيجة ارتفاع رقم الـpH لها حيث يصبح أيون الحديديك هو السائد. ويمكن التقليل من شدة هذا النقص بخفض الـpH بإضافة المركبات ذات التأثير الحامضى مثل الكبريت المعدنى لمثل هذه الأراضى. وعلى ذلك

يمكن زيادة صلاحية الحديد للنبات فى الأراضى القاعدية بإضافة المواد العضوية لتلك الأراضى . وعكس ذلك فى الأراضى شديدة الحموضة يمكن أن يتواجد أيون الحديدوز بتركيز مرتفع قد يصل إلى حد السمية للنباتات النامية فى تلك الأراضى .

٢ – **المادة العضوية** : يزداد الحديد الميسر للنبات بوجود المادة العضوية حيث يوجود فى صورة مركبات مخلبية ذائبة فى المحلول الأرضى حتى ولو كان pH التربة مرتفعاً . وعلى ذلك يمكن القول بإن الأراضى الفقيرة فى محتواها من المادة العضوية قد تعانى من نقص الحديد الصالح للنبات .

٣ – **قوام التربة** : الأراضى خشنة القوام كما هو فى حالة الأراضى الرملية والتى تحتوى أصلاً على كمية قليلة من الحديد الكلى، نتوقع أن تكون كمية الحديد الميسرة بها قليلة، وبالتالى تعانى النباتات النامية بها من نقص فى الحديد .

٤ – **تأثير كربونات الكالسيوم** : بجانب تأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم الـpH والذى يؤثر سلبياً على تيسر الحديد الصالح للنبات فى مثل هذه الأراضى، تلعب كربونات الكالسيوم والماغنسيوم دوراً مهماً ومباشراً فى درجة ذوبان الحديد، حيث تؤدى زيادة كمية الكربونات إلى تحويل أيون الحديدوز الذائب إلى صورة غير ذائبة كأكسيد الحديديك أو هيدروكسيد الحديديك ويتضح ذلك من المعادلات الآتية :

$$Fe^{2}+ CaCO_3 \Rightarrow FeCO_3+ Ca^{2+}$$

$$2FeCO_3+ Ca(HCO_3)_2+O_2 \Rightarrow Fe2(CO_3)_3+Ca(OH)_2$$

$$Fe_2(CO_3)_3+3H_2O \Rightarrow Fe_2O_3+3H_2CO_3$$

وعلي ذلك فوجود الكربونات بالأرض يشجع على نقص الحديد الميسر للنبات وبالتالى ظهور الاصفرار على النباتات النامى بها . وهناك تفسير آخر لظهور الاصفرار على النباتات النامية فى الأراضى الجيرية وهو أن السبب يرجع إلى عرقلة أيون البيكربونات HCO_3^- لامتصاص أيون الحديد وانتقاله داخل النبات، ويعتبر أيون البيكربونات ناتج طبيعى من عملية التحلل المائى لكربونات الكالسيوم كما فى المعادلة التالية :

$$CaCO_3+CO_2+H_2O \Rightarrow Ca^{2+} 2HCO_3^-$$

وقد فسر Mengle and Kirkby سنة ١٩٨٧، تأثير أيون البيكربونات على امتصاص الحديد بواسطة النبات، بأن امتصاص هذا الأيون يؤدى إلى رفع pHخلايا الجذور (فى الفراغات الحرة Free space) وأنسجة الأوراق وهذا يؤدى إلى ترسيب الحديد داخل النبات (الجذور)، وبالتالى تقل حركته مما يؤدى إلى ظهور الاصفرار على النموات الحديثة. وهنا يجب الإشارة إلى أن الاصفرار ليس ناتجاً من نقص الحديد الميسر بالتربة، بل نتيجة تأثير الكربونات وهو مايعرف Lime induced iron chlorosis، ويمكن التقليل من ظاهرة الاصفرار الناتج عن نقص الحديد فى الأراضى الجيرية بمراعاة مايلى:

– عدم زيادة الرطوبة الأرضية أكثر من اللازم لحدوث عملية التحلل المائى للكربونات.

–يمكن الإقلال من تأثير أيون OH^- الناتج من التحلل المائى للكربونات بزيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون CO_2فى الهواء الأرضى.

– يمكن إضافة بعض المركبات ذات التأثير الحامضى إلى مثل هذه الأراضى مثل الكبريت المعدنى.

٥– **محتوى الأرض من الرطوبة**: مع ارتفاع رطوبة التربة الزراعية تقل بها التهوية، وبالتالى يتأثر نمو النبات حيث يصبح ضعيفاً ويكون أكثر قابلية للتعرض لنقص الحديد وخاصة فى الأراضى الجيرية. ويشذ عن ذلك الأراضى المنزرعة بالأرز والمغمورة بالماء باستمرار حيث يحدث اختزال للحديديك ويصبح فى صورة حديدوز ذائبة وصالحة للنبات وبالتالى لاتعانى معظم نباتات الأرز من نقص الحديد. وعلي ذلك فى الأراضى الجيرية يجب الحذر من ارتفاع المحتوى الرطوبى بها وذلك بتجنب الرى الزائد حيث لوحظ ظهور الأصفرار على النباتات النامية تحت هذه الظروف نتيجة حدوث التحلل المائى لكربونات الكالسيوم.

٦– **تأثير التضاد بين الأيونات Antagonistic ions**: من الاسباب التى تؤدى إلى ظهور الاصفرار الناتج عن نقص الحديد على النباتات هو وجود أو إضافة أسمدة عناصر

معينة، حيث وجد أن زيادة الفوسفور الذائب فى التربة يقلل من امتصاص الحديد (كما هو فى حالة تأثير الفوسفور على الزنك) ويعتقد بأن الفوسفات تساعد على ترسيب الحديد فى وسط النمو وتجعله فى صورة غير صالحة للامتصاص بواسطة النبات، وهنا رأى آخر يقول بإن تأثير زيادة الفوسفات على ظهور الاصفرار الناتج عن نقص الحديد يرجع إلى زيادة نسبة الفوسفور إلى الحديد (P/Fe) داخل النبات. أيضاً نفس التأثير وجد مع زيادة Cu,Mn,Mo and Zn فى وسط النمو حيث يحدث تداخل أو تضاد مع امتصاص الحديد بواسطة النبات، وبالتالى يمكن أن تظهر أعراض نقص الحديد تحت هذه الظروف. وقد أشارت بعض الأبحاث أن زيادة مستوى التسميد النيتروجينى وخاصة إذا كان في صورة نترات يؤدى إلى ظهور أعراض نقص الحديد، ويرتبط التداخل بين الحديد والنيتروجين بعدة آراء غالبيتها تؤكد أن إضافة الحديد مع التسميد النيتروجينى يزيد الإنتاج إذا أضيف النيتروجين فى صورة الأمونيوم NH_4^+ وذلك للتأثير الحامضى لهذا السماد والعكس مع إضافته فى صورة نترات NO_3^- ذات التأثير القاعدى. وأن زيادة التسميد النيتروجينى بصفة عامة يزيد النمو الخضرى وبالتالى المادة الجافة مما يسبب تخفيف تركيز الحديد فى النبات.

٧- **درجة الحرارة**: بجانب العوامل السابق ذكرها على تيسر الحديد فى التربة، وجد أن درجة الحرارة تلعب دوراً أيضاً، حيث وجد أنه مع انخفاض درجة الحرارة ينخفض معدل نمو النبات، وأيضاً يقل معدل معدنة المادة العضوية والتى تساهم بجزء أساسى من الحديد الميسر نتيجة لقلة نشاط الكائنات الدقيقة تحت هذه الظروف وبالتالى يمكن ظهور الاصفرار الناتج من نقص الحديد الميسر.

اختبارات التربة للحديد

تعتبر مستخلصات خلات الأمونيوم والمركب الكيلاتى DTPA من أكثر المحاليل انتشارا والمستخدمة لاستخلاص الحديد الصالح للنبات من التربة. ووجد أنه فى حالة احتواء التربة على ٢ جزء فى المليون حديد مستخلص بخلات الأمونيوم تعانى النباتات النامية بتلك الأرض من نقص فى هذا العنصر. فى حين يمكن القول بإن المستوى الحرج للحديد فى التربة يكون فى مدى ٢,٥ – ٤,٥ جزء فى المليون حديد فى حالة

الاستخلاص بمركب DTPA ، حيث وجد أن معظم المحاصيل تستجيب لإضافة الحديد عندما يكون تركيز الحديد المستخلص بهذا المركب ٢,٥ جزء فى المليون، بينما المحاصيل الحساسة للحديد (المحاصيل ذات الاحتياجات المرتفعة) يكون من المفيد إضافة الحديد لهذه المحاصيل عندما يكون تركيز الحديد المستخلص من التربة فى مدى ٢,٥ – ٤,٥ جزء فى المليون. وجدول (٧ – ٧) يبين أهم المحاليل المستخدمة لاستخلاص الحديد من التربة.

جدول (٧ – ٧): طرق تقدير الحديد في التربة

محلول الاستخلاص	نسبة التربة (جم) إلى المحلول (مل)	زمن الرج (دقيقة)
محلول خلات الأمونيوم قوته ١ عيارى	٢,٥ : ٥٠	٣٠
DTPA (0.005 M DTPA + 0.1 M TEA + 0.01 M $CaCL_2$) (pH 7.3)	١٠ : ٢٠	١٢٠

الحديد فى النبات Iron in Plant

الوظائف الحيوية للحديد Iron Biological Functions

نتيجة لقدرة الحديد على الدخول فى صورة معقدات كيلاتية وكذلك إمكانية تغير تكافئه أى قدرته على التأكسد والاختزال داخل النبات، فيعتبر الحديد ذا تأثيرات فيسيولوجية مهمة.

$$Fe^{2+} \Leftrightarrow Fe^{3+} + e^{-}$$

– يلعب الحديد دوراً أساسيًا وضروريًا فى نظام العديد من الإنزيمات وخاصة الإنزيمات التى تدخل أو تساعد فى عملية التنفس Haem enzyme systems والتى منها Cytochrome oxidase, Catalase, Peroxidase. ويمثل اشتراك الحديد فى تكوين هذه المركبات أهمية خاصة فى عمليات الأكسدة وهو أحد الأدوار الهامة فى

عمليات الميتابوليزم بالخلية.

– بالرغم من عدم دخول الحديد فى تركيب جزئ الكلوروفيل، إلا إنه مهم فى تخليق والحفاظ على هذه المادة الخضراء داخل النبات وعلى ذلك فنقصه يؤدى إلى ظهور الشحوب الخضرى ويظهر الاصفرارعلى النبات.

– يلعب دوراً أساسيًا فى تمثيل الاحماض النووية، والكلوروبلاست.

تركيز الحديد فى النبات :

تختلف كمية الحديد فى النباتات المختلفة، وعادة يكون تركيز الحديد فى مدى يتراوح بين ٥٠ إلى ١٠٠ جزء فى المليون. وعمومًا، تكون النباتات البقولية غنية فى محتواها من الحديد بالمقارنة بالنباتات العشبية (المراعى). وأيضًا الأجزاء النباتية المسنة يكون محتواها من الحديد أكبر من الأجزاء حديثة النمو لنفس النبات ويرجع ذلك إلى عدم حركة هذا العنصر داخل النبات. وعلى ذلك يكون من المهم مراعاة هذا عند أخذ العينات النباتية للتحليل.

الحدود الحرجة للحديد فى النبات :

بصفة عامة، إذا كان تركيز الحديد داخل أنسجة النبات أقل من ٥٠ جزء فى المليون فهذا يعنى أن هذه النباتات تعانى من نقص فى الحديد ويتضح ذلك من جدول (٧ – ٨). لكن يجب القول بانه فى بعض الحالات يكون مستوى الحديد الكلى داخل النبات مرتفعًا ومع ذلك يظهر عليه الاصفرار **Chlorosis**، ويرجع ذلك لأن النبات يستفيد من الحديد فى صورة حديدوز أكثر منه فى صورة حديديك، ولذلك يعمل النبات على اختزال الحديديك بمجرد امتصاصه إلى حديدوز. ووجد أن النباتات تختلف فيما بينها فى قدرتها على اختزال الحديديك. حيث أثبتت الأبحاث أن محتوى الأوراق الخضراء من أيون الحديدوز Fe^{2+} يفوق بكثير محتوى الأوراق التى يظهر عليها الاصفرار لنفس النبات. وعلى ذلك يمكن القول بانه فى داخل النبات يوجد حديد نشط **Active iron** (Fe^{2+}) وهو الحديد الذائب وله علاقة مباشرة بتكوين الكلوروفيل وباقى العمليات الحيوية التى تحتاج إلى الحديد فى عملها، بينما الحديد الغير نشط **Inactive iron** (Fe^{3+}) يكون مترسبًا وليس له علاقة بالعمليات الحيوية.

يلعب المنجنيز دوراً أساسيًا فى أكسدة الحديدوز (النشط) إلى حديديك (غير نشط)، وبالتالى فزيادة المنجنيز داخل النبات يسبب الاصفرار بالرغم من أن الحديد الكلى موجود بتركيز مرتفع ويعرف ذلك بما يسمى بنقص الحديد الناتج عن زيادة المنجنيز **Mn-induced iron deficiency** . وأيضًا يمكن تعليل سبب ظهور الاصفرار على الأوراق **Iron chlorotic leaves** بالرغم من ارتفاع محتواها من الحديد الكلى إلى أن الحديد يكون مرتبطًا بأصول كيميائية داخل النبات مثل أنيونات , OH^- , $H_2PO_4^-$ HCO_3^- أو مركبات مخلبية فى خلايا الورقة، وبالتالى لا يرتبط الحديد مع المركبات العضوية التى تستخدم الحديد فى العمليات الحيوية بالخلية .

أما بالنسبة للسمية الناتجة عن زيادة الحديد فهى قليلة الحدوث بالنسبة للمحاصيل المختلفة،والتركيز المسبب لحدوث السمية غير معروف . ويشذ عن هذا النبات الارز فى بعض مزارعه وخاصة فى الأراضى شديدة الحموضة حيث تظهر أعراض السمية بظهور اللون البرونزى **Bronzing** على الأوراق، ويكون تركيز الحديد أكثر من ٣٠٠ جزء فى المليون فى هذه النباتات .

جدول (٧ – ٨) : الحدود الحرجة للحديد في بعض النباتات

المحصول	الجزء المأخوذ للتحليل	تركيز الحديد (جزء في المليون)	
		حدود النقص	الحدود الطبيعية
الذرة	الأوراق الناضجة حديثًا	٢٤ – ٥٦	٥٦ – ١٧٨
الأرز	الأوراق	< ٦٣	> ٨٠
فول الصويا	السيقان (فى عمر ٣٤ يوم)	٢٨ – ٣٨	٤٤ – ٦٠
عباد الشمس	الأوراق الناضجة حديثًا	٨٠	١١٣
البرسيم الحجازى	بطول ١٥ سم من القمة	< ٣٠	٣٠ – ٤٠٠
القطن	الأوراق الناضجة حديثًا	< ٥٠	٥٠ – ٣٥٠

عن الـ (FAO) سنة ١٩٨٣ .

أعراض نقص الحديد على النبات

قد تظهر أعراض نقص الحديد والناتج عن نقص الكمية الصالحة فى التربة عندما يقل تركيزه داخل النبات عن ٥٠ جزءاً فى المليون. ويمكن ذكر الظروف التى تشجع على ظهور الأصفرار Chlorosis وهو العرض الرئيسى على النبات فيما يلى: انخفاض محتوى التربة من الحديد الصالح (الحد الحرج للحديد والمستخلص بمحلول DTPA هو فى مدى ٢,٥ – ٤,٥ ppm) – ارتفاع نسبة الكربونات فى التربة – ارتفاع مستوى البيكربونات الذائبة فى التربة وفى مياه الرى – زيادة الفوسفات الذائبة – زيادة النترات – الرى الزائد وارتفاع نسبة الرطوبة بالأرض – زيادة تركيز المعادن الثقيلة بالتربة مثل Mn , Cu , Zn وغيرها – عدم الاتزان بين نسب الكاتيونات فى النبات – التهوية السيئة – انخفاض درجة حرارة التربة – زيادة الكثافة الضوئية – معدل إضافة المادة العضوية – الإصابة بالفيروسات – إصابة الجذور بالنيماتودا أو الكائنات الأرضية الأخرى وأخيراً العوامل الوراثية للنبات.

يعتبر الحديد من العناصر غير متحركة داخل النبات وبالتالى تظهر أعراض نقصه على الأوراق حديثة النمو. وأهم الأعراض الظاهرية مايلى:

١ – أهم الأعراض المعروفة هى ظهور أصفرار على الأوراق الحديثة النمو. ويبدأ الأصفرار بظهور لون أخضر باهت ثم يتبعه ظهور اللون الأصفر وفى مناطق متداخلة على الورقة، مع بقاء العروق خضراء.

٢ – فى العديد من الحالات، ومع شدة النقص يتحول اللون الأصفر إلى اللون الأبيض مع انعكاس الشمس على الورقة.

ومن الجدير بالذكر أنه قد يحدث تشابه بين أعراض نقص الحديد والماغنسيوم وذلك لتأثيرهما على تكوين جزىء الكلوروفيل فى النبات إلا أن عنصر الماغنسيوم من العناصر المتحركة فى داخل النبات وبالتالى تظهر الأعراض على الأوراق المسنة.

وفيما يلى أعراض نقص الحديد على نباتات بعض المحاصيل الاقتصادية فى مصر:

الموالح: تظهر الأعراض على الأوراق الحديثة على شكل شبكة دقيقة التحديد من العروق الصغيرة ذات اللون الأخضر ويتخللها أنسجة ذات لون أصفر، ويظهر التعريق

بوضوح على خلفية من اللون الأخضر الباهت لنصل الورقة، ومع نمو الورقة تصبح أقل سمكًا ونصف شفافة فى حين لا ينقص حجم الورقة كثيرًا، ومع شدة النقص تخرج أوراق النموات الحديثة بلون أصفر ولا تصل إلى حجمها الطبيعى وتتساقط مبكرًا، وفى الحالات الشديدة تكون الأوراق الحديثة بيضاء اللون، وتموت الأوراق والأفرع المعرضة للشمس. وفى مصر لوحظ ظهور أعراض نقص الحديد فى كثير من مزارع الموالح ويكون ذلك مرتبطًا بزيادة نسبة كربونات الكالسيوم فى التربة أو فى مياه الرى، وأيضًا لوحظ زيادة فى نقص الحديد وذلك فى حالة عدم ضبط الرى.

العنب: وهنا تظهر الأعراض مبكرًا مع بداية موسم النمو وذلك بتحول لون الورقة إلى اللون الأصفر أو الأبيض المصفر مع بقاء اللون الأخضر فقط محددًا لشبكة العروق. ويزداد ظهور الأعراض فى الأراضى ذات المحتوى المرتفع من كربونات الكالسيوم.

القمح - الشعير و الأرز: تظهر العروق المتوازية بلون أخضر يحدد شبكة التعريق، فى حين يكون باقى النصل أصفر ويتضح ذلك فى الأوراق الطرفية.

الذرة: يبدأ على الأوراق الحديثة بشكل خطوط خضراء تميز العروق الأساسية بدقة وبينها مساحات صفراء تماما بطول الورقة كلها وتظهر على الأوراق الطرفية أولا ومع تقدم النقص يتحول لون الورقة إلى اللون الأبيض وتموت تمامًا.

الفول البلدى والفول السودانى - البرسيم ومحاصيل الخضروات البقولية: شبكة دقيقة من العروق الخضراء تظهر على خلفية صفراء اللون تماما وذلك على الأوراق الطرفية صغيرة العمر.

القطن: قد تتشابه أعراض نقص الحديد مع أعراض نقص النيتروجين وخاصة فى المراحل المبكرة من النمو أى عندما يكون النبات صغيرًا فى العمر، وتحت الظروف العادية تظهر أعراض نقص الحديد فى الأعمار المتقدمة وذلك على الأوراق الحديثة، وتتمثل الأعراض فى اصفرار النصل مع بقاء العروق خضراء وتظل الأوراق المسنة خضراء فى حين نجد أن نقص النيتروجين يكون على الأوراق المسنة أولا، وقد لوحظت الأعراض على أوراق القطن فى بعض مناطق الوجه البحرى ومصر الوسطى.

البطاطس: تظهر الأعراض على الأوراق الحديثة، وتتميز بأن قمم وحواف الوريقات

تظل خضراء لفترة أطول من باقى الورقة والتى يصبح لونها أصفر شاحب. وقد يتحول إلى اللون الأبيض مع شدة النقص وتنثنى حواف النسيج الأصفر إلى أعلى. وقد لوحظت هذه الأعراض فى بعض زراعات البطاطس فى الأراضى الرملية.

الطماطم: يبدأ باصفرار النسيج الموجود بين العروق الوسطى للأوراق العليا، بينما تظل العروق بلونها الطبيعى ويلاحظ أن الاصفرار يكون عام بالوريقة السفلى للأوراق العليا مع تدرج اللون الأصفر بالوريقات الأخرى بالورقة، ويكون أقلها أصفراراً الوريقة المتصلة بعنق الورقة مباشرة. وتظهر أعراض النقص فى نهاية عمر النبات فى حالة الزراعات الكثيفة مع عدم إضافة الأسمدة العضوية بكمية كافية.

نماذج لأعراض نقص الحديد على بعض النباتات صفحة ٤٧٥ ، ٤٧٦

الأسمدة المحتوية على الحديد.

هناك عدة مصادر لمركبات الحديد والتى تستخدم كأسمدة لمعالجة نقص الحديد الميسر بالتربة الزراعية يوضحها جدول (٧-٩). وتختلف طرق إضافة هذه الأسمدة حسب نوع الأرض ونوع السماد وأيضاً حسب المحصول. حيث اتضح أن كفاءة استخدام الأسمدة المخلبية أعلى من الأسمدة المعدنية وخاصة عند إضافتها للأراضى القاعدية أو الجيرية. ويرجع ذلك لأن قوة ارتباط الأيون بالمركب المخلبى كبيرة وبالتالى يفقد الأيون قدرته على التفاعل مع المكونات الأخرى للتربة وعلى ذلك يبقى العنصر فى صورة ذائبة فى المحلول الأرضى وميسرة للنبات حتى فى الوسط القاعدى. وقد يفسر تأثير المركبات المخلبية فى زيادة صلاحية الحديد للنبات على أساس أن جذور النبات تمتص الكاتيون الغذائى من المركب المخلبى عن طريق التبادل بالتماس بين الجذر والمركب المخلبى فينتقل الكاتيون إلى الجذر وينطلق بدلاً منه أيون الأيدروجين تاركاً الجزء العضوى فى محلول التربة، وبفقد الكاتيون من المركب المخلبى يتهدم البناء الحلقى ثم يتحد المركب مرة أخرى مع كاتيونات المحلول الأرضى ومنها أيون الحديد والذى يزداد تيسره نتيجة انخفاض الـ pH الناتج من انطلاق أيون الأيدروجين ويتكون المعقد المخلبى مرة أخرى.

جدول (٧ – ٩) : الأسمدة المحتوية على الحديد ومعدل استخدامها في تغذية النبات

السماد ورمزه الكيميائي	النسبة المئوية للحديد	معدل وطريقة الإضافة
المركبات المعدنية		يفضل إضافتها رشًا بتركيز
كبريتات الحديدوز	٢٠,٥	٢٪ كبريتات حديدوز
$FeSO_4 . 7 H_2O$		بمعدل ٨٠ – ١٢٠ لترًا
كبريتات الحديديك	٢٠,٠	للفدان
$Fe_2 (SO_4)_3 . 4H_2O$		
كبريتات الأمونيوم		
الحديدوز $(NH_4)_2SO_4, FeSO_4 . 6H_2O$	١٤,٠	
المركبات المخلبية		
Fe - DTPA	١٠,٠	
Fe - EDTA	٩,٠ – ١٢,٠	الحديد المخلبى يضاف رشًا
Fe - EDDHA	٦,٠	وبعدل ٥,٠ – ١كجم حديد
Fe - HEDTA	٥,٠ – ٩,٠	مخلبى / ٤٠٠ لتر للفدان .

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣ و أبو الروس وآخرون ١٩٩٢

وأوضحت الدراسات على سلوك المركبات المخلبية **Fe - DTPA** (ثنائى الإيثيلين ثلاثى الأمين خماسى حمض الخليك) **Fe - EDTA** (الإيثيلين ثنائى الأمين رباعى حمض الخليك) **Fe - EDDHA** و (إيثيلين ثنائى الأمين ثنائى الفينيل هيدروكسى حامض الخليك) بالأراضى الجيرية ودرجة صلاحيتها للنبات وجد أن أعلى كمية ممتصة من الحديد بواسطة النبات كانت باستخدام **Fe - EDDHA**، وإن حوالى ٦٥٪ من الحديد تظل فى صورة ذائبة بالمحلول الأرضى عند استخدام نفس المركب **(Lindsay)** سنة

١٩٧٤ . ويستنتج من هذه النتائج بأن مركب Fe - EDDHA يكون أكثر ثباتًا فى الأراضى الجيرية عن باقى المركبات المخلبية الأخرى والتى يحل الكالسيوم محل الحديد الموجود بها مع ارتفاع رقم الـ pH .

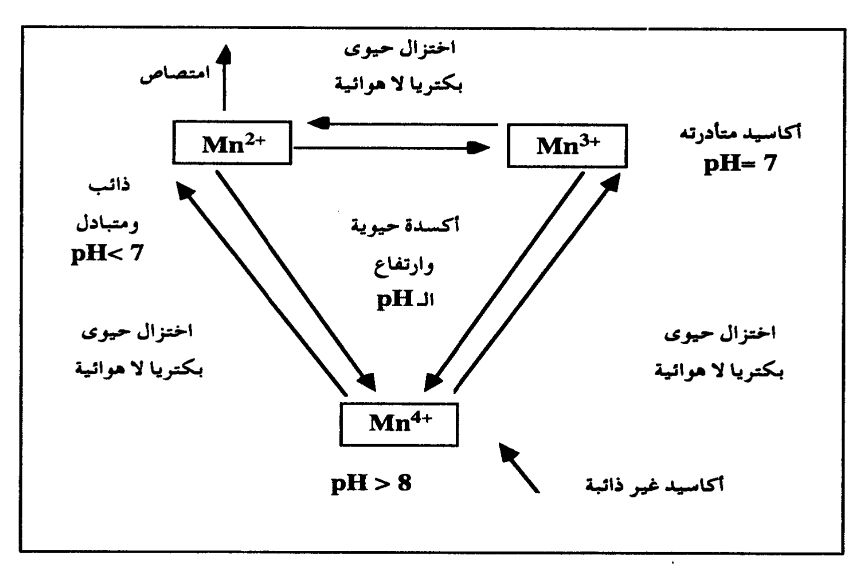
المنـجـنيــز Manganese

المنجنيز فى الأرض Manganese in Soil

يتشابه المنجنيز مع الحديد فى صفاته الكيميائية والتراكيب الجيولوجية بالأرض، ويحتل المركز الثانى بعد الحديد من ناحية كميته فى مكونات القشرة الأرضية. ويوجد المنجنيز فى الأرض على عدة صور أهمها:

- مركبات ذو تركيزات مرتفعة من المنجنيز كما فى بعض المعادن الثانوية وأهم هذه المعادن البيرولوسيت (Pyrolusite (MnO_2)، المنجانيت (Manganite (MnO (OH) والبرونيت (Braunite (Mn_2O_3)، والهوسمنيت (Hausmanite (Mn_3O_4).
- المنجنيز من العناصر متعددة التكافؤ حيث يكون ثنائيًا، رباعيًا، سداسيًا أو سباعيًا، وتعتبر الصورة الثنائية Mn^{2+} من أهم صور المنجنيز بالتربة الزراعية وذلك لكونها أفضل الصور الصالحة للامتصاص بواسطة النبات وهى تعرف بالصورة النشطة. وبحدوث الأكسدة لهذه الصورة تتحول إلى الصورة الثلاثية ثم الرباعية. وقد يوجد المنجنيز مرافق للمادة العضوية بالتربة.
- المنجنيز الثنائى التكافؤ قد يكون ذائبًا تمامًا فى المحلول الأرضى أو مدمصًا على أسطح الغرويات الأرضية سواء معدنية كما فى الأكاسيد السداسية أو عضوية.

ويوجد حالة من التوازن بين الصورة الثنائية التكافؤ والصور عالية التكافؤ، وهذا الاتزان والتغير فى التكافؤ يحكمه ظروف التأكسد والاختزال بالأرض. أيضًا يتوقف على رقم الـ pH، حيث يزداد المنجنيز الذائب Mn^{2+} بانخفاض الـ pH. بينما فى الأراضى القاعدية والأراضى جيدة التهوية يزداد وجود المنجنيز عالى التكافؤ، وشكل (٧-١) يوضح ذلك فيما يعرف بدورة المنجنيز فى التربة الزراعية.



شكل (٧-١) : دورة المنجنيز في التربة

المنجنيز الكلى :

تختلف الأراضى فيما بينها اختلافًا فى محتواها من المنجنيز الكلى . فهناك أراضى يكون محتواها من المنجنيز الكلى قليلاً جداً قد يصل فى ندرته إلى آثار، بينما أراضى أخرى قد يزيد محتواها من هذا العنصر عن ١٠٪ . وفى الغالب يكون متوسط تركيز الكلى ما بين ٢٠٠ – ٣٠٠ جزء من المليون . ويعتبر المنجنيز الثنائى التكافؤ قابل للحركة مما يجعله يتعرض للغسيل وخاصة فى أراضى البودزول الحامضية، وعلى هذا يقلل من محتوى الأرض من المنجنيز الكلى . وهنا يجب التذكرة بأن المنجنيز الكلى بالأرض ليس دليل على خصوبتها من هذا العنصر بالنسبة للنبات لأن ذلك يتوقف على الكمية الصالحة والموجودة فى صورة ميسرة للنبات .

المنجنيز الميسر :

من دورة المنجنيز فى الأرض نلاحظ أن الصورة الثنائية من المنجنيز هى الصورة الأكثر أهمية وذلك لعلاقتها المباشرة بتغذية النبات . وعلى ذلك فإن حالة التوازن بين الصور الثلاثة تحدد الكمية النشطة والذائبة فى محلول التربة . ويوجد عدة عوامل تؤثر على كمية المنجنيز الميسرة (الذائبة) للنبات يمكن إيجازها كما يلى :

١ - **درجة الـ pH** : ارتفاع pH التربة يؤدى إلى خفض الكمية الميسرة من المنجنيز إلى الدرجة التى لا تسمح بإمداد النباتات النامية فى هذه الأراضى بحاجتها من هذا العنصر، حيث يتأكسد المزيد من المنجنيز الثنائى تحت هذه الظروف . ويتضح ذلك جليًا فى الأراضى الجيرية، حيث إن محتوى هذه الأراضى من المنجنيز الكلى كبير ولكن الكمية الميسرة منه قليلة جداً وذلك يرجع إلى ارتفاع pH هذه الأراضى . وعلى ذلك فمن المفيد استخدام الأسمدة ذات التأثير الحامضى والتى تزيد من المنجنيز الميسر نتيجة لخفضها pH التربة . كذلك هناك تأثير آخر لـ pH التربة، حيث يؤثر على نشاط الكائنات الدقيقة والتى لها دور هام فى عمليتى الأكسدة والاختزال للمنجنيز، حيث وجد أن هذه الكائنات تقوم بعملية الأكسدة عند قيم من pH حول رقم ٧ ويتحول Mn^{2+} إلى صور Mn^{3+} , Mn^{4+} غير الميسرة للنبات . وعكس ذلك فى الأراضى الحامضية، حيث يزداد تيسر المنجنيز إلى الدرجة التى قد يصبح معها تركيزه فى المحلول الأراضى سامًا مما يسبب مشاكل للنباتات النامية بتلك الأراضى .

٢ - **المادة العضوية** : كما هو معروف تعمل المادة العضوية على خفض الـ pH للأراضى التى تضاف إليها وبالتالى يكون من المتوقع أن يكون الوسط الحامضى هذا ملائم لحدوث عملية الاختزال وبالتالى تيسر المنجنيز للنبات، وبجانب هذا ومع تحلل المادة العضوية تنطلق بعض الأحماض العضوية ذات الوزن الجزيئى المنخفض والتى تعمل كمركب مخلبى يرتبط مع المنجنيز ويجعله فى صورة صالحة للنبات . قد تعانى النباتات النامية فى الأراضى القاعدية وذات المحتوى المرتفع من المادة العضوية

من نقص المنجنيز وذلك لأن ارتفاع pH الأرض يساعد على تكوين معقدات ثابتة للمنجنيز مع المادة العضوية مما يقلل من صلاحية هذا العنصر.

٣- **قوام التربة**: عمومًا الأراضى الرملية يكون محتواها الكلى من المنجنيز قليل، وعلى ذلك يكون من المتوقع أن يكون المنجنيز الميسر بهذه الأراضى قليل.

٤- **محتوى الأرض من الرطوبة**: نظرًا لأن المنجنيز من العناصر متعددة التكافؤ مثله مثل الحديد، فنجد أن ظروف التهوية تلعب دورًا أساسيًا فى تحديد الكمية الصالحة من هذا العنصر (Mn^{2+}). وعلى ذلك نجد أنه تحت ظروف التهوية السيئة ونقص الاكسجين تزداد كمية Mn^{2+} نتيجة لحدوث عملية الاختزال للصور العالية التكافؤ من المنجنيز، وتلعب المادة العضوية سهلة التحلل دور مهم فى زيادة هذه الكمية وذلك لأن مع تحللها تنطلق الطاقة التى تستخدمها الكائنات الدقيقة المسئولة عن عملية الاختزال. وعلى ذلك فالنباتات المائية ومن أمثلتها الأرز قد لا تعانى من نقص المنجنيز لزيادة ذوبانه تحت هذه الظروف. كما أنه فى بعض لمناطق يحدث فى وقت واحد زيادة فى كل من الكمية الميسرة نتيجة لظروف الاختزال، والكمية المفقودة من هذه الصورة نتيجة لعملية الغسيل، كما فى المناطق الرطبة الممطرة.

٥- **تأثير الأيونات المغذية الأخرى**: وجد أن هناك بعض الأيونات التى تؤثر سلبيًا على المنجنيز الممتص بواسطة النبات أى هناك ما يعرف باسم ظاهرة التضاد Antagonism بين المنجنيز وهذه الأيونات. ومن الأمثلة الواضحة فى هذا المجال التضاد مع أيون الحديد، حيث إن المستوى المرتفع من الحديد الميسر بالتربة يؤدى إلى ظهور أعراض نقص المنجنيز على النبات. ولقد أثبتت الدراسات بأن أقصى درجة لنمو النبات تحدث عندما تكون نسبة الحديد : المنجنيز Fe: Mn ratio فى وسط النمو تنحصر بين ١,٥–٢,٥. ففى حالة ارتفاع النسبة عن ٢,٥ تؤدى إلى ظهور أعراض نقص المنجنيز على النبات، بينما بانخفاض هذه النسبة عن ١,٥ تظهر أعراض السمية لهذا العنصر. ومثل الحديد، فى هذه المستويات المرتفعة من النحاس والزنك، حيث يعرقل كل منهما امتصاص المنجنيز.

٦- **العوامل المناخية**: تظهر أعراض النقص لعنصر المنجنيز على النباتات النامية في المناطق ذات المناخ البارد، وأيضًا في المناخ الجاف قد تعاني نقصًا في امتصاص المنجنيز. وعلى العكس من ذلك فإن زيادة شدة الضوء تزيد من المنجنيز الممتص.

اختبارات التربة للمنجنيز:

سبق وأن ذكرنا أن الصورة الميسرة للنبات من المنجنيز هي المنجنيز الثنائي التكافؤ Mn^{++}، بالإضافة إلى الصور السهلة الاختزال من المنجنيز، كل من الصورتين تسمى بالمنجنيز النشط "Active Mn". والطرق المستخدمة لتقدير المنجنيز الميسر للنبات تقوم باستخلاص جزء من هذه الصورة النشطة (جدول ٧-١٠). يمكن تقدير المنجنيز الذائب في التربة عن طريق الاستخلاص بالماء، ولكن عادة يكون تركيز المنجنيز في هذا المستخلص منخفضًا جداً. وقد تكون هذه الطريقة ملائمة لاستخلاص المنجنيز من الأراضي الحامضية. وتعتبر القيمة ٢ جزء في المليون من المنجنيز المستخلص بالماء منخفضة بالنسبة للمحاصيل الحساسة للمنجنيز، في حين القيمة ١ جزء في المليون لنفس المستخلص هي الحد الحرج والذى عنده تظهر أعراض نقص المنجنيز على النباتات النامية في هذه الأراضي. أما بالنسبة لمحلول خلات الأمونيوم العياري والمتعادل تكون الأراضي ذات محتوى منخفض من المنجنيز وتعاني النباتات النامية بها من نقص هذا العنصر إذا كانت القيمة المستخلصة ٣,٥ جزء في المليون، وهذه الطريقة يمكن استخدامها بنجاح في كثير من الأراضي. وتعتبر طريقة الاستخلاص بمركب DTPA من أكثر الطرق نجاحًا في كثير من الأراضي ولكثير من المحاصيل وتعتبر القيمة ٢ جزء في المليون في هذا المستخلص هي البداية لعدم استجابة المحاصيل المختلفة لإضافة المنجنيز لهذه الأرض. والمستوى الحرج للمنجنيز المستخلص بمحلول الفوسفات هي في مدى ١٥-٢٠جزء في المليون، وهذه الطريقة من أحسن الطرق المستخدمة للأراضي المعدنية.

جدول (٧-١٠): طريق استخلاص المنجنيز من التربة

محلول الاستخلاص	التربة (جم) إلى المستخلص (مل)	زمن الرج (دقيقة)
الماء	١٠٠:١٠	٣٠
١ N خلات أمونيوم (pH 7.0)	١٠٠:١٠	٣٠ + ١٨٠ رج متقطع
0.2% Hydroquinone + N NH_4 OAc (pH 7.0) خلات أمونيوم	١٠٠:١٠	٣٠ + ٨٠ رج متقطع
٠,١ N حمض H_3PO_4	١٠٠:١٠	٦٠
Double acid (0.05 N HCl + 0.025 N H_2SO_4)	٢٠:٥	٥
DTPA (0.005 M DTPA + 0.1 N TEA + 0.01 M $CaCL_2$ (pH 7.3)	٢٠:١٠	١٢٠

المنجنيز فى النبات Manganese in Plant

يحتاج النبات المنجنيز بكميات قليلة؛ لأن جميع مركبات هذا العنصر ذات سمية ملحوظة للنبات إلا إذا وجدت بتركيزات قليلة جداً. وعادة يوجد المنجنيز بكميات وفيرة داخل الأجزاء النشطة فسيولوجياً من النبات وخاصة الأوراق، والمنجنيز من العناصر غير المتحركة داخل النبات، وبالتالى إعادة توزيع هذا العنصر بين الأجزاء المختلفة داخل النبات قليلة جداً. يساهم المنجنيز فى العديد من العمليات الحيوية داخل النبات والتى تؤدى إلى زيادة الإنتاج وتحسن من جودته فى كثير من المحاصيل الزراعية، حيث يقوم بدور العامل المساعد الأساسى أو الثانوى فى حياة النبات، وهو يلعب دوراً مباشراً فى عمليات التأكسد والاختزال وخاصة بالنسبة لمركبات الحديد، حيث يمثل المنجنيز أحد العوامل المسببة لظهور الأصفرار الناتج عن نقص الحديد، ويرجع ذلك لتحول الحديدوز إلى حديديك وهذه الصورة تعتبر خاملة من الوجهة الفسيولوجية.

وينشط المنجنيز كثير من الإنزيمات مثل الديهيدروجينيز والكربوكسيليز، وقد ينشط بعض إنزيمات الهيدروجينيز والكربوكسيليز والتى ينشطها الماغنسيوم ولكنه لا يقوم

بنفس العمل بالنسبة للإنزيمات التى ينشطها بعض الكاتيونات الأخرى. وللمنجنيز علاقة بتكوين الكلوروفيل، حيث تتأثر البلاستيدات الخضراء بنقص المنجنيز. كذلك وجد أن المنجنيز ضرورى لانشطار جزىء الماء أثناء عملية التمثيل الضوئى (Hill's re-action) كما فى المعادلة، حيث يقوم بأكسدة جزىء الماء فى وجود الضوء والكلوروفيل إلى أيونات الأيدروجين والأكسجين ثم تختزل أيونات المنجنيز باستقبالها لأيونات الأيدروجين. أيضًا يلعب المنجنيز دورًا هامًا فى تمثيل النيتروجين داخل النبات.

$$2H_2O + 4\,Mn^{4+} \Rightarrow 4H+ + O_2 + 4Mn^{3+}\ 4e$$

تركيز المنجنيز فى النبات:

يختلف المنجنيز عن باقى العناصر الصغرى من حيث اختلاف تركيزه بالنبات، حيث وجد أن هناك اختلافات كبيرة فى تركيز المنجنيز داخل النباتات المختلفة وليس هذا فقط، بل أيضًا بين النباتات داخل النوع الواحد. والتركيز العادى لهذا العنصر بالنباتات يكون فى مدى ٢٠ إلى ٥٠٠ جزء فى المليون فى المادة الجافة ويتضح ذلك من جدول (٧-١١). عادة يقل تركيز المنجنيز داخل النبات مع زيادة عمر هذا النبات، كذلك وجد أن تركيز المنجنيز بالنبات يرتبط برقم pH بالتربة النامى بها هذا النبات، حيث يقل التركيز مع ارتفاع الـ pH بالتربة. وعلى هذا نجد أن الحدود الحرجة لهذا العنصر تختلف من نبات إلى آخر كما فى جدول (٧-١١)، ومن هذا الجدول نجد أنه عند انخفاض التركيز عن ٢٠ جزءًا فى المليون فى كثير من النباتات تظهر أعراض نقص المنجنيز. بينما تظهر أعراض السمية على النبات إذا زاد التركيز عن ٥٠٠ جزء فى المليون، ويشذ عن ذلك نبات الأرز، حيث وجد أن هذا النبات شديد التحمل لزيادة المنجنيز فى وسط النمو حتى إذا وصل التركيز إلى ٢٥٠٠ جزء فى المليون، كما وجد أيضًا أن هناك علاقة بين كل من أعراض النقص والسمية بعنصر المنجنيز والتى تظهر على النبات بمحتوى هذا النبات من الحديد. فالتركيز المرتفع جدًا أو المنخفض جدًا من الحديد بالنبات مقارنة بتركيز المنجنيز يؤدى إلى ظهور أعراض النقص أو السمية بالمنجنيز على النبات بالترتيب.

جدول (٧-١١) : الحدود الحرجة لتركيز المنجنيز في بعض المحاصيل

النبات	الجزء الثانى	نوع المزرعة النباتية	تركيز المنجنيز بالجزء في المليون		
			حدود النقص	حدود الكفاية	حدود السمية
البرسيم الحجازى	القمة النباتية القمة النباتية	محلول مغذى مزرعة أرضية	١٠ > —	— ٢٤٠-٦٢	— ١٩٧٠-٦٥١
التفاح	الأوراق	حقل	١٥	٣٠	—
الشعير	القمة النباتية	مزرعة أرضية	—	٧٦-١٤	—
فاصوليا الليما	القمة النامية	حقل	٦٨-٣٢	-٢٠٧ ١٣٤٠	—
الذرة	كيزان أوراق	الحقل	—	٨٤-١٩	—
القطن	القمة النامية	مزرعة أرضية	—	٢١٦-٢٧	-١١٣٠ ٢٩٢٠
الشوفان	القمة النامية	أرض حمضية	—	٣٧٠-٣٠١	—
البرتقال	الأوراق	الحقل	١٥	٢٠٠-٢٥	١٠٠٠
الأرز	القمة النامية	محلول مغذى	٢٠ >	—	٢٥٠٠ >
فول الصويا	القمة النامية	مزرعة أرضية	١٥ >	٣٥	—
بنجر السكر	الأوراق	الحقل	٣٠-٥	١٧٠٠-٧	١٢٥٠ - ٣٠٢٠
الطماطم	الأوراق	محلول مغذى	٦-٥	٣٩٨-٧٠	—
القمح	القمة النامية	محلول مغذى	—	٦٢١-١٨١	٢٥٦١-٣٩٥

عن الـ FAO ١٩٨٣

حساسية النباتات لنقص المنجنيز بالتربة :

تختلف النباتات فيما بينها فى درجة حساسيتها لنقص المنجنيز الميسر ويمكن تصنيفها كما يلى :

أ- نباتات عالية الحساسية لنقص المنجنيز وتشمل : الفول، الخيار، الخس، الشوفان، البسلة، الفجل، فول الصويا، الذرة الرفيعة، السبانخ، بنجر السكر، القمح، الموالح، التفاح، الخوخ، العنب والفراولة.

ب- نباتات متوسطة الحساسية لنقص المنجنيز وتشمل : البرسيم الحجازى، الشعير، الكرنب، القرنبيط، الطماطم، البطاطس، الأرز واللفت.

جـ- نباتات درجة حساسيتها منخفضة وتشمل : الإسبرجس والقطن.

أما بالنسبة لدرجة حساسية النبات لزيادة المنجنيز الذائب، يعتبر الأرز من أهم المحاصيل تحملاً، بينما البرسيم الحجازى والكرنب والقرنبيط والأناناس وبنجر السكر والطماطم ومحاصيل الحبوب والبرسيم تعتبر من المحاصيل الحساسة لزيادة المنجنيز وبالتالى تظهر عليها أعراض السمية.

أعراض نقص المنجنيز على النبات :

تبدأ ظهور الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة النمو عند انخفاض تركيز المنجنيز فى النبات عن ٢٠ جزء فى المليون وانخفاض محتوى التربة من المنجنيز الميسر والمستخلص بمحلول DTPA عن ٢,٠ جزء فى المليون، وارتفاع محتوى الأرض من الكمية الميسرة لعناصر الحديد والنحاس والزنك.

وتكون هذه الأعراض باختصار كما يلى :

- ظهور اصفرار بين عروق الأوراق الحديثة، ثم تتميز بعد ذلك بظهور بقع بنية لأنسجة ميتة منتشرة على الورقة مع بقاء عروق الورقة خضراء داكنة (أى تبدو الورقة مبقعة كلوحة الشطرنج).
- تظهر منطقة ذات لون رمادى عند قاعدة الأوراق الصغيرة ثم يتحول إلى لون مصفر وفى النهاية يتحول إلى اللون البرتقالى المصفر.

– وأعراض المنجنيز المنتشرة على نباتات الشوفان تعرف باسم البقع الرمادية **Grey speck** وعلى البسلة تعرف باسم نقط المستنقعات أو البقع السبخية **Marsh spot** وعلى قصب السكر تعرف باسم الأمراض الخطية أو الشريطية **Streak disease**.

وفيما يلى أعراض نقص المنجنيز على أهم المحاصيل الاقتصادية:

الموالح: تظهر الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة فى شكل مناطق ذات لون أخضر داكن على طول العرق الوسطى والعروق الجانبية الرئيسية مع ظهور لون أخضر باهت على المساحات الموجودة بينها على نصل الورقة. وقد تمتد هذه الأعراض بسرعة إلى الأوراق الأكبر عمراً. وفى المراحل المبكرة تظهر الأعراض بشكل بقع أو نقط خضراء فاتحة غير منتظمة على حواف الورقة، ومعظم هذه البقع تأخذ شكل حدوة تتجه فتحتها نحو العرق الوسطى. ومع تطور حالة النقص يزيد عدد البقع وتأخذ لونا يتدرج من الأخضر الباهت إلى الأبيض، وتختلف أعراض نقص المنجنيز مع أعراض نقص الزنك فى عدة نقاط وهى:

– حجم الورقة لا يصغر، وشكل الفرع لا يتغير.

– نصفا الورقة يكونان متماثلان فى المساحة.

– لا يحدث قصر فى طول السلاميات.

– تظهر الأعراض المبكرة على أجزاء الشجرة المعرضة أكثر للظل.

– لا يحدث تساقط غير عادى للأوراق.

– لا يتأثر الثمرة ولا لونها وكذلك حجمها.

العنب: تظهر الأعراض أولاً على الأوراق الحديثة ولكن فى وقت متأخر عن ظهور أعراض نقص الحديد، وذلك بلون أخضر داكن حول العروق الرئيسية، بينما يكون لون باقى الورقة أخضر باهت، ولا يصحب تغير لون الأوراق أى نقص فى حجمها إلا إذا كان النقص شديداً.

القمح والشعير والأرز: يظهر فى البداية فى شكل بقع بنية، رمادى اللون على النصف القاعدى من الورقة الثالثة من أعلى. وتستطيل البقع لتتطور إلى خطوط موازية

للعروق، بينما يبقى لون طرف الورقة القمى أخضر لبعض الوقت، ومع استمرار النقص تظهر الأعراض على الأوراق الأكبر سنًا على شكل نقط بنية مخروطية الشكل تظهر مبعثرة على الربع القاعدى من الورقة.

الذرة: تظهر أعراض النقص على الأوراق فى شكل خطوط بيضاء مع بقاء التعريق أخضر، وفى حالة النقص الشديد قد تتحول هذه الخطوط إلى اللون البنى وتسقط الأوراق.

الفول البلدى والفول السودانى، البرسيم ومحاصيل الخضر البقولية: يظهر على الأوراق الصغيرة فى العمر مثل الحديد، وذلك على شكل نقط بنية - رمادية اللون ومبعثرة على خلفية ذات لون أخضر فاتح ويظل لون العروق الرئيسية أخضر، ما عدا فى حالة الفول السودانى، حيث تصفر هذه العروق.

البطاطس: تظهر الأعراض على الأوراق الحديثة فى شكل مناطق خضراء باهتة بين العروق ثم تتحول إلى اللون البنى، وتزيد منطقة اللون البنى بطول العروق مع زيادة النقص.

الطماطم: يبدأ باصفرار الأوراق العليا ويكون الاصفرار أيضًا بالعرق الرئيسى للوريقة، ويكون على هيئة بقع تظهر بقاعدة الوريقات أكثر من قمتها، ثم باشتداد النقص يتحول اللون إلى اللون البنى فى مكان الأصفرار حتى يعم الورقة كلها فتسقط أو تجف.

نماذج لأعراض نقص المنجنيز على بعض النباتات صفحة ٤٧٧ ، ٤٧٨

الأسمدة المحتوية على المنجنيز:

يتم علاج أعراض نقص المنجنيز على النباتات بإضافة أحد الأسمدة التى تحتوى على المنجنيز سواء عن طريق التربة أو عن طريق الرش وخاصة فى حالة الرغبة فى المعالجة السريعة للأعراض الظاهرة. وجدول (٧-١٢) يشير إلى أهم هذه الأسمدة المستخدمة ومعدلات استخدامها بالطرق المختلفة.

ومن الجدير بالذكر بأن الصفات الطبيعية والكيميائية للتربة ونوع السماد يلعبان دوراً أساسيًا فى تحديد طريقة الإضافة . وعلى ذلك ففى الأراضى الجيرية يفضل استخدام الأسمدة المخلبية عن الأسمدة المعدنية وذلك لقابلية المنجنيز فى الصورة الأخيرة للتأكسد وبالتالى يصبح أقل تيسراً للنبات، وفى حالة عدم توفر المركبات المخلبية يمكن استخدام المركبات المعدنية تكبيشًا بجوار النبات أو الأفضل استخدامها رشًا على المجموع الخضرى للنبات .

جدول (٧-١٢) : أسمدة المنجنيز والمعدلات المقترحة حسب طريقة الإضافة

اسم السماد	الرمز الكيميائى	٪ للمنجنيز	المعدلات المقترحة للاستخدام كجم منجنيز / هكتار		
			نثر	تكبيش	رش
كبريتات منجنيز	$MnSO_4 . 3H_2O$	٢٦-٢٨	٢٢-١٣٠	٦-١١	٠,٥-٢,٠
اكسيد منجنيز	MnO	٤١-٦٨	٨٤	١١	٤-٦
منجنيز مخلبى	Mn-EDTA	١٢	-	-	٠,١-٠,٥

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣

النحــاس Copper

النحاس فى الأرض Copper in Soil

تختلف الأراضى فيما بينها فى محتواها من النحاس الكلى تبعاً لمادة الأصل الناشئة منها هذه الأرض نظراً لدخول هذا العنصر فى التركيب الكيميائى لبعض الصخور. ويوجد النحاس فى التربة على عدة صور:

١ – معادن كبريتيدية Sulphides وأهم هذه المعادن هو Chalcopyrite ($CuFeS_2$) حيث يعتبر المصدر الأساسى للنحاس.

٢ – معادن الأكاسيد والكربونات النحاسية ومنها Cuprite (Cu_2O) Malchite ($CuCO_3$). وهذه الصورة مع السابقة لها من الصور التى لا يمكن استخلاصها بالمستخلصات العادية ويطلق عليها النحاس غير المتحرك فى التربة (ويصنف بالنحاس فى المستودع المستقر (Cu- forms in the Lable pool) علماً بأن الجزء الأكبر من النحاس الكلى يوجد فى التركيب البلورى لمعادن التربة الأولية منها أو الثانوية.

٣ – يوجد النحاس أيضاً متبادل على أسطح الغرويات المعدنية، والصورة الأيونية المتبادلة هى Cu^{++} أو $CuOH^{+}$ ويعتبر هذا الجزء ميسر للنبات نسبياً.

٤ – يوجد النحاس فى التربة مرتبطاً مع المادة العضوية من خلال المجاميع الكربوكسيلية والفينولية أو اليهدروكسيلية مكوناً معقدات ثابتة Copper organic matter complexe وأشارت بعض الأبحاث بأن ارتباط النحاس مع حمض الفولفيك يكون مركبات سهلة الذوبان والعكس عند ارتباط هذا العنصر مع حمض الدباليك Hu-mic acid حيث تتكون مركبات غير دائبة. وعلى ذلك فمن المتوقع بأن النباتات النامية فى الأراضى العضوية سوف تعانى من نقص النحاس.

٥ – كمية قليلة جداً من النحاس الكلى الموجود فى التربة توجد فى الصورة الذائبة فى المحلول الأرضى والتى لايتعدى تركيزها فى المحلول الأرضى غالباً عن ٠,٠٠١ جزء

فى المليون، ويرجع ذلك لأن معظم النحاس الذائب فى المحلول الأرضى يرتبط مع المادة العضوية ويكون مركبات ثابتة. وتعتبر الصورة الأيونية Cu^{2+} هى الأكثر سيادة عند pH الأقل من ٧، بينما تكون السيادة للصورة $Cu(OH)^+$ فى محلول التربة القاعدية.

النحاس الكلى:

سبق ذكر بأن الأراضى تختلف فيما بينها فى محتواها من النحاس الكلى، حيث تتراوح من ١٠ إلى ٢٠٠ جزء فى المليون وكمتوسط عام يكون حوالى ٥٥ جزءاً فى المليون. وتعتبر الأراضى الناشئة من الصخور النارية مثل البازلت وهى صخور قاعدية التأثير وغنية فى النحاس (تحتوى على ١٠٠ جزء فى المليون نحاس) فى حين أن الأراضى الناشئة من الصخور الحامضية التأثير مثل الجرانيت (تحتوى على ١٠ جزء فى المليون نحاس). وبصفة عامة يتأثر محتوى الأرض الكلى من النحاس بقوام الأرض، حيث وجد أن المحتوى الكلى يزداد مع زيادة كمية الحبيبات صغيرة الحجم، أى يزداد فى الأراضى ناعمة القوام. وفى الأراضى المصرية وجد أن المحتوى الكلى من هذا العنصر فى الأراضى الرسوبية يتراوح من ٢٠ إلى ٦٢ جزءاً فى المليون وفى الأراضى الجيرية كانت هذه القيمة بين ١٠–٥٠، بينما كانت فى الأراضى الرملية من ٦ إلى ١٨ جزءاً فى المليون (أبو الروس وآخرون سنة ١٩٩٢).

النحاس الميسر:

تتوقف كمية النحاس الميسر للنبات بالأرض على عدة عوامل وهى:

١ – **المخزون الكلى:** هناك ارتباط بين المحتوى الكلى من النحاس فى الأرض والكمية الميسرة للنبات. أى أنه من المتوقع زيادة هذه الكمية مع زيادة المحتوى الكلى للأرض من النحاس.

٢ – **الـ pH:** تتأثر درجة صلاحية النحاس للنبات عند الدرجات المختلفة من الـ pH، بصفة عامة تقل كمية النحاس الميسرة للنبات بارتفاع رقم الـ pH عن ٧، بينما مع انخفاض الـ pH عن ٦,٠ يزداد تيسر النحاس، وفى الأراضى شديدة الحموضة (pH أقل من ٤,٥) نجد أن الكمية الميسرة للنبات تقل مرة أخرى ويرجع ذلك إلى:

أ – يمكن أن يتحد النحاس الذائب (الميسر) مع سيليكات الألومنيوم، الفوسفات أو أيونات أخرى ذائبة.

ب – زيادة الكمية الممتصة من الأيونات الأخرى فى الأراضى الحامضية يقلل أو يعوق امتصاص النحاس.

٣ – **المادة العضوية**: فيما يتعلق بكاتيونات العناصر الصغرى Cu, Zn, Mn, Fe يعتبر النحاس أكثرهم ارتباطاً مع المادة العضوية. وهذا يفسر سبب زيادة ظهور أعراض نقص عنصر النحاس على النباتات النامية فى الأراضى العضوية كما فى أراضى البيت والملك Peat and muck soils ويرجع ذلك لقوة ارتباط النحاس مع المادة العضوية. وعادةً تكون معقدات النحاس مع المادة العضوية ذات الوزن الجزيئى المرتفع (أكثر من ٥٠٠) قليلة الذوبان بالمقارنة بمعقدات النحاس العضوية ذات الوزن الجزيئى المنخفض (أقل من ١٠٠). ونقص النحاس على النبات لايقتصر على زيادة المادة العضوية فقط، ففى المناطق الجافة يكون هناك نقص شديد فى النحاس على النبات بالرغم من أن محتوى الأرض من المادة العضوية فى هذه الحالة يكون قليل.

٤ – **قوام الأرض**: النباتات النامية فى الأراضى الرملية تعانى من نقص النحاس وذلك لقلة الكمية الميسرة حيث ترتبط الكمية الذائبة من هذا العنصر بقوام التربة، وبالتالى السعة التبادلية الكاتيونية حيث تزداد الكمية الميسرة بنعومة القوام لاحتوائها على كمية أكبر من النحاس الكلى.

٥ – **التضاد الأيونى Antagonistic**: وجد أن المستويات المرتفعة من النيتروجين أو الفوسفور تؤثر عكسياً على التغذية بعنصر النحاس، حيث تظهر أعراض نقص النحاس على النباتات النامية تحت هذه الظروف. كما أن الزيادة من عنصر الزنك الذائب فى وسط النمو يؤدى إلى ظهور نقص النحاس.

٦ – **كربونات الكالسيوم**: كما هو معروف بأن زيادة كربونات الكالسيوم فى التربة ترفع من قيمة pH التربة وبالتالى يكون لها تأثيرها غير المباشر على نقص الكمية الميسرة من النحاس، حيث يكون رقم الـ pH فى حدود ٨ وعند هذا الـ pH يحدث تفاعل كيميائى بين النحاس وكربونات الكالسيوم وتتكون كربونات النحاس القاعدة

$CaCO_3$ ، $Cu(OH)_2$ غير الذائبة وبالتالى تقلل من صلاحية هذا العنصر.

اختبارات التربة للنحاس :

يوجد العديد من الطرق المستخدمة فى تقدير مستوى النحاس الميسر فى التربة والتى يستخدم فيها محاليل استخلاص مختلفة، وسوف نتعرض لبعض هذه الطرق علما بأن نتائجها موثوق فيها للتنبؤ بمستوى النحاس الميسر فى بعض الأراضى وليست كلها. وكمية النحاس الميسر فى التربة تتأثر بعوامل كثيرة وأهمها المادة العضوية وبعض العناصر المعدنية مثل الالومنيوم والحديد، وهذا يمكن أن يفسر اختلاف نتائج الطريقة الواحدة من أرض إلى أخرى.

وتشترك كل طرق تقدير النحاس الميسر فى التربة فى أن تركيز العنصر فى المستخلص يكون منخفضاً جداً. وجدول (٧-١٣) يبين أهم الطرق المستخدمة فى هذا المجال.

جدول (٧ - ١٣) طرق استخلاص النحاس من التربة

محلول الاستخلاص	التربة (جم) إلى المحلول (مل)	زمن الرج (دقيقة)	الحد الحرج (ppm)
Citrate + EDTA*	٥ : ٥٠	٦٠	–
N NH_4 OAc (pH 4.8)	٥٠ : ١٠٠	٦٠	٠,٢
DTPA	١٠ : ٢٠	١٢٠	٠,٢
0.05 N HCl + 0.025 N H_2SO_4	٥ : ٢٠	٥	٠,٤

* لتحضير واحد لتر من المحلول يذاب ٢٠٠جم سترات أمونيوم + ٥٠جم Na_2- EDTA فى لتر ماء مقطر وتكون قيمة الـ pH للمحلول هى ٨,٥ .

النحاس فى النبات Copper in Plant .

الوظائف الحيوية للنحاس Cupper Biological Functions

يعتبر النحاس أحد مكونات بعض إنزيمات الأكسدة والاختزال ومن العناصر اللازمة للعديد من البروتينات، ودوره الأساسى يكون واضحاً فى عمل إنزيم السيتوكروم

أوكسيديز Cytochrome oxidase حيث يعتبر مكملاً لهذا الإنزيم، والإنزيم المؤكسد لحمض الإسكوربيك Ascorbic acid-oxidase وبعض الإنزيمات الاخرى مثل الفينوليز Phenolase وإنزيم الاكتيز Lactase. كذلك وجد أن أكثر من ٧٠٪ من النحاس الموجود فى النبات يتركز فى الكلوروفيل Chlorophyll مما يوضح مدى أهمية هذا العنصر فى تخليق الكلوروفيل وأيضاً يُعزز النحاس من تكوين فيتامين أ (Vitamin A) فى النبات. كذلك وجد أن النحاس يؤثر على تبادل الكربوهيدرات والبروتينات ويزيد من مقاومة النبات ضد الأمراض الفطرية.

تركيز النحاس فى النبات:

يتراوح تركيز النحاس فى النباتات المختلفة من ٥ إلى ٢٠ جزءاً فى المليون جدول (٧-١٤)، وتكون النباتات الصغيرة ذات تركيز مرتفع من النحاس ويقل التركيز مع تقدم هذه النباتات فى العمر والوصول إلى مرحلة النضج. يتوقف توزيع النحاس داخل النموات الحديثة على مدى توافر هذا العنصر فى وسط النمو، حيث يسلك النحاس مسلك العناصر المتحركة داخل النبات فى حالة الإمداد الكافى ويشابه العناصر غير المتحركة فى حالة النقص. حيث يزداد تركيز النحاس فى النموات الحديثة بالمقارنة بالنموات المسنة فى حالة توافر العنصر فى وسط النمو، بينما فى حالة النقص تحتوى هذه النموات على تركيز أقل منه فى النموات المسنة.

الحدود الحرجة للنحاس فى النبات:

الحدود الحرجة لتركيز النحاس فى النبات يوضحها جدول (٧-١٤). ومن الجدول نجد أنه بانخفاض التركيز داخل النبات عن ٤ جزء فى المليون يكون من المتوقع ظهور أعراض نقص النحاس على هذه النباتات. أما من حيث التركيز الذى يؤدى إلى ظهور أعراض السمية للنحاس على النبات فيمكن القول بأن زيادة التركيز على ٢٠ جزءاً فى المليون ربما يؤذى النبات.

حساسية النباتات المختلفة لنقص النحاس فى التربة:

تختلف النباتات فيما بينها فى درجة حساسيتها لنقص النحاس فى التربة ويمكن وصف ذلك كما يلى:

أ – نباتات حساسة لنقص النحاس: وتشمل البرسيم الحجازى، الشعير، الجزر، الخس، السبانخ، الشوفان، حشيشة السودان، بنجر المائدة، القمح والموالح.

ب – نباتات متوسطة الحساسية لنقص النحاس وتشمل الكرنب، القرنبيط، البرسيم، الخيار، الذرة، القطن، الفجل، بنجر السكر، الطماطم، الذرة السكرية، اللفت، التفاح، الخوخ، الكمثرى والفراولة.

جـ – نباتات قليلة الحساسية لنقص النحاس وتشمل الأسبرجس، الفول، البسلة، البطاطس، فول الصويا والأرز.

جدول (٧ –١٤): الحدود الحرجة لتركيز النحاس في بعض النباتات

المحصول	الجزء المأخوذ للتحليل (العينة)	تركيز النحاس بالجزء فى المليون		
		حد النقص	حد الكفاية	حد السمية
البرسيم الحجازى	قمة النبات (١٥سم)	< ١٠	١٠ – ٣٠	> ٣٠
الذرة	ورق الكوز	< ٥	٥ – ٣٠	> ٣٠
القطن	الأوراق الناضجة حديثاً	< ٨	٨ – ٢٠	> ٢٠
فول الصويا	الأوراق الناضجة حديثاً	١٠	١٠ – ٣٠	> ٣٠
الشعير	الحبوب	–	٦ – ١٢	–
الشوفان	أوراق (عمر ٦–٩ إسبوع)	< ٣	٧ – ١٢	–
القمح	السيقان	٨	٩ – ١٨	–
التفاح	الأوراق العلوية	١ – ٤	٣ – ١٢	–
البرتقال	الأوراق (عمر ٤–٦ إسبوع)	٤ – ٦	٦ – ١٦	١٧ – ٢٢
العنب	الأوراق الصغيرة	٢ – ٥	٨ – ١٠	–

أعراض نقص النحاس على النبات:

عادة تظهر أعراض نقص النحاس على النباتات النامية فى تربة تعانى من نقص النحاس الميسر بها ومن خصائص هذه التربة: أنها ذات محتوى كلى منخفض من النحاس ويكون الحد الحرج من النحاس الكلى فى الأراضى المعدنية هو أقل من ٦ جزء فى المليون، بينما ترتفع هذه القيمة كثيراً بالنسبة للأراضى العضوية حيث تصل إلى ٣٠

جزءاً فى المليون . وعلى هذا يزداد ظهور أعراض النقص فى الأراضى العضوية عنها فى الأراضى المعدنية، كما تعانى الأراضى القاعدية وخاصة الجيرية منها والأراضى الرملية الحامضية من نقص النحاس . هذا وتؤدى الإضافة الزائدة لكلٍ من النيتروجين، الفوسفور والزنك إلى ظهور أعراض النحاس على النبات .

والنحاس قد يسلك كلٍ من العناصر المتحركة وغير المتحركة داخل النبات، ويتوقف ذلك على مدى توفر هذا العنصر فى وسط النمو . وبصفة عامة فإن أعراض نقص النحاس عبارة عن تحول لون الورقة إلى اللون الأبيض مع صغر حجم الورقة وقصر المسافات بين العقد وبالتالى تقزم والتفاف النبات وتساقط الأزهار . وفى محاصيل الحبوب مثل القمح والشعير والارز، تظهر الاعراض على شكل جفاف وموت قمة الأوراق أو أجزاء من الورقة . وتلتف الأجزاء الجافة على شكل لولب، وقد تجف الأوراق دون تغير فى لونها . وتظهر الاعراض على السنابل حيث يكون السفا غير قائم والسنابل غير ممتلئة ومشوهة . وتظهر هذه الأعراض أكثر ما يكون على النباتات النامية فى الأراضى الرملية حديثة الاستصلاح أما بالنسبة للموالح فيحدث تأخر وموت للنموات الحديثة وتظهر بثرات صمغية بين اللحاء والخشب، وإفرازات بنية اللون مائلة للاحمرار وموزعة بدون انتظام على الثمار ويتحول لونها إلى البنى القاتم عند نضج الثمار . وقد توجد جيوب صمغية فى القشرة، وفى وسط الثمار عند زوايا الفصوص كما تكون الثمار معرضة للتشقق . وعموماً فإن أعراض نقص النحاس على النبات أقل انتشاراً من بعض العناصر الصغرى الاخرى مثل الزنك، ويرجع ذلك إلى أن النحاس يدخل فى تركيب كثير من المبيدات الحشرية والفطرية والتى تستخدم بكثرة حالياً فى الزراعة .

أما من حيث أعراض السمية والتى قد تحدث بكثرة مع الاستخدام الزائد للأسمدة التى تحوى النحاس أن من استخدام المبيدات الفطرية أو الحشرية فتكون عبارة عن إصفرار Cholorsis والذى يكون مشابهة لنقص الحديد ظاهرياً . ويمكن علاج السمية بإضافة مركبات الحديد المخلبية إلى التربة أو رشاً على الأشجار .

نماذج لأعراض نقص النحاس على بعض النباتات صفحة ٤٧٩ ، ٤٨٠

الأسمدة المحتوية على النحاس :

تعتبر كل من الأراضى الرملية – الجيرية والعضوية من أكثر الأراضى تعرضا لظهور أعراض نقص النحاس على النباتات النامية بها، ويتم علاج النقص بعد تقدير الكمية الميسرة منه بالأرض وتحديد الكمية اللازمة والتى يحتاجها النبات وذلك تجنباً لإضافة أى زيادة من النحاس والتى تسبب سمية وضرر للنبات .

ويجب ذكر أن صفات كلٍ من التربة والسماد لهما دوراً هاماً فى تحديد الكمية وطريقة الإضافة للسماد (جدول ٧–١٥) . فمثلاً يفضل إضافة المركبات المخلبية للنباتات المنزرعة فى الأراضى الجيرية وذلك لقدرة تلك المركبات على الحفاظ على النحاس فى صورته الصالحة للنبات . وفى كثير من الأحيان يفضل استخدام كبريتات النحاس المائية $CuSO_4.5H_2O$ لإضافتها بالرش وذلك لقدرتها العالية على الذوبان .

جدول (٧–١٥) : يبين أهم الأسمدة التي تحتوى على النحاس ومعدل إضافتها تبعاً لطريقة الإضافة

السماد	الرمز الكيميائى	٪ للنحاس	معدل الإضافة المقترح كجم نحاس / هكتار نثر	تكبيش	رش
كبريتات النحاس	$CuSO_4.5H_2O$	٢٥	٣,٠ – ٦,٠	١,٤ – ٤,٥	٠,١ كجم / ١٠٠ لتر ماء
	$CuSO_4.H_2O$	٣٥	٣,٠ – ٦,٠	١,٤ – ٤,٥	
النحاس المخلبى	$Na_2CuEDTA$	١٣	٠,٨ – ٢,٤	٠,٢ – ٠,٨	٣٠ جم / ١٠٠ لتر ماء
	Na-CuEDTA	٩	٠,٨ – ٢,٤	٠,٢ – ٠,٨	

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣

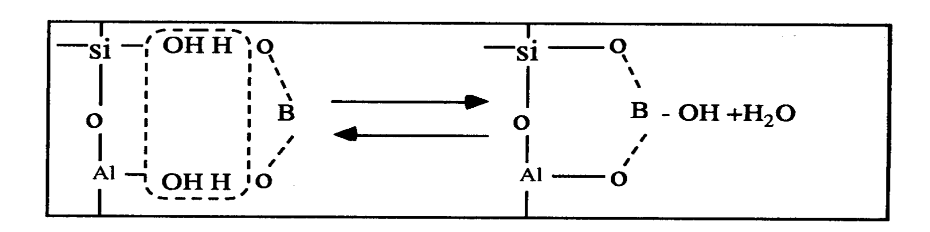
البـــورون Boron

البورون فى الأرض Boron in Soils

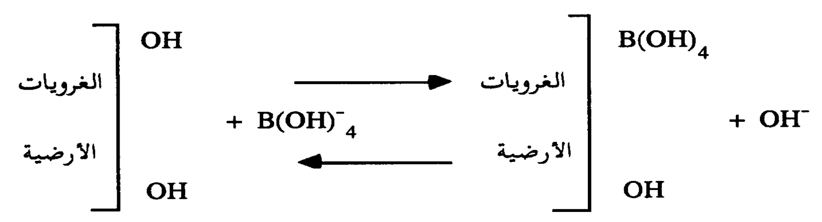
يوجد البورون فى الأرض فى عدة صور كما يلى :

١ - **المعادن الأرضية**: يدخل البورون فى تركيب كثير من المعادن الأرضية وبالتالى فهو ينتشر فى كثير من الأراضى. وأكثر المعادن السيليكاتية شيوعًا والتى تحتوى على البورون هو معدن التورمالين Florin borosilicate tourmaline ونسبة البورون به من ٣ - ٤٪، وهذا المعدن مقاوم لعمليات التجوية وبالتالى تعتبر صور البورون فى المركبات المعدنية غير ميسرة للامتصاص بواسطة النبات مباشرة ما لم يتحرر ويصبح ذائبًا فى المحلول الأرضى.

٢ - **البورون المدمص**: يُدمص البورون على أسطح الغرويات الأرضية التى تحمل شحنة موجبة سواء كان على صورة أيون بورات $B(OH)_4^-$ أو على هيئة حمض البوريك H_3BO_3 ويحدث الادمصاص على الحواف المكسورة لمعادن سيليكات الألومنيوم أو على الأكاسيد السداسية الحرة مثل هيدروكسيدات الألومنيوم والحديد. ويحدث الادمصاص لحمض البوريك كما اقترحه Sims and Bingham سنة ١٩٦٢ :



فى الأراضى القاعدية يصبح البورون على صورة أيون البورات $B(OH)_4^-$ المتادرتة فى المحلول الأرضى وبالتالى يحدث لهذه الانيونات ادمصاص على أسطح الغرويات الأرضية عن طريق تبادله مع أنيون الأيدروكسيل:



يزداد ادمصاص البورون فى الأراضى القاعدية والجيرية بهذه الطريقة نظراً لزيادة تكوين أنيون البورات فى مثل هذه الأراضى، وهذا يقلل من فقد البورون عن طريق الغسيل. وعموماً يعتبر البورون المدمص مخزوناً أساسياً للبورون فى الأرض نظراً لوجود حالة من الاتزان بينه وبين البورون الذائب فى المحلول الأرضى حيث يمكن تبادله مع أنيونات الأيدروكسيل الذائبة فى المحلول الأرضى وبالتالى يمكن أن يعوض انخفاض تركيز البورون فى المحلول الأرضى نتيجة امتصاص النبات له.

٣ – **البورون المرتبط مع المادة العضوية:** يوجد البورون بكميات محسوسة مرتبطاً مع المادة العضوية. وقد يرتبط البورون مع المجاميع الفعالة للمواد الدبالية مثل مجموعات الكربوكسيل، والهيدروكسيل مكوناً معقدات مختلفة فى درجة ذوبانها. ويمكن أن يحدث انطلاق للبورون من هذه المعقدات بعد عملية التحلل بفعل الكائنات الدقيقة.

٤ – **البورون الذائب فى المحلول الأرضى:** وتعتبر هذه الصورة من أهم الصور من حيث درجة صلاحيتها للنبات. ويوجد البورون أساساً على صورة حمض البوريك H_3BO_3 وهذ الحمض غير قابل للتأين فى ظروف الـ pH العادية للأراضى الزراعية؛ ولذلك يكون عرضة للفقد من الأرض عن طريق عملية الغسيل. بينما تحت ظروف الأراضى القاعدية ومع ارتفاع الـ pH يتحد حمض البوريك مع الماء ويتكون أنيون البورات المتادرتة $B(OH)_4^-$ التى يحدث لها ادمصاص فى المواقع الموجبة الشحنة أو بالتبادل مع مجموعة OH^- على أسطح الغرويات الأرضية.

ومن الجدير بالذكر بأن هناك حالة من الاتزان بين الصور السابق ذكرها، ويعتبر توزيع البورون بين الصورة الذائبة وباقى الصور غير الذائبة ذات أهمية كبرى لأن التركيز

المنخفض يؤدى إلى ظهور أعراض النقص، بينما الزيادة النسبية منه تؤدى إلى حدوث السمية للنبات، وأن المدى ما بين حدود النقص والسمية ضيق جداً.

البورون الكلى :

يتراوح تركيز البورون فى الأراضى المختلفة بصفة عامة بين ٢ إلى ١٠٠ جزء فى المليون، بمتوسط عام ٣٠ جزءاً فى المليون. وتعتبر الأراضى الناشئة من مادة أصل حامضية (صخور حامضية التأثير) – الأراضى المتكونة بفعل ترسيبى عن مياه عذبة، وأيضًا الأراضى خشنة القوام وكذلك الأراضى الفقيرة فى المادة العضوية تكون كلها فقيرة فى محتواها من البورون الكلى. والعكس فى الأراضى الغنية بالطين الصفائحى والأراضى الرسوبية الناعمة القوام تكون ذات محتوى مرتفع من البورون الكلى. وأيضًا تكون الأراضى الجيرية والأراضى المتأثرة بالأملاح والأراضى المتاخمة للبحار (تركيز البورون فى مياه البحار ٤,٧ جزء فى المليون) ذات محتوى مرتفع من البورون. وعنصر البورون عرضة للغسيل بسهولة، وبالتالى يمكن القول بأن الأراضى الواقعة فى المناطق الجافة وشبه الجافة تكون ذات محتوى مرتفع من البورون بالمقارنة بالأراضى الواقعة فى المناطق الرطبة. وعمومًا لا يعتبر البورون الكلى فى الأرض دليلاً جيدًا على كمية البورون الميسر للنبات. وذلك لوجود العديد من العوامل المؤثرة على تيسر البورون.

البورون الميسر :

يعتبرالبورون المستخلص من التربة بالماء الساخن معبراً تمامًا عن البورون الميسر للنبات ويتراوح تركيزه بين ٠,١ و ٣,٠ جزء فى المليون وتعتبر الأراضى الجافة ذات القيم الأعلى من هذا المحتوى. ويوجد العديد من العوامل المؤثرة على تيسر البورون ومن أهمها :

١ – **رقم الـ pH** : يوجد ارتباط بين تيسر البورون فى التربة الزراعية ورقم الـpH لهذه التربة، حيث وجد أن البورون الذائب يزداد مع ارتفاع رقم الـpH من ٤,٧ إلى ٦,٧ بينما تقل الكمية الميسرة بارتفاع الرقم عن ذلك فيما عدا الأراضى الصودية الملحية، وفى الأراضى الجيرية يكون تأثير الـpH المرتفع هو المؤثر على ظهور نقص البورون على النبات النامية بها.

٢ – **المادة العضوية**: هناك ارتباط موجب بين محتوى الأرض من المادة العضوية وبين البورون الميسر للنبات، حيث يرتبط البورون بالمادة العضوية عن طريق المجاميع الفعالة مثل المجاميع الكربوكسيلية والهيدروكسيلية مكونًا معقدات عضوية مختلفة في درجة ذوبانها، ولكن يمكن القول بأن مع تحلل هذه المواد بفعل الكائنات الأرضية الدقيقة ينطلق البورون الذائب. ويزداد تأثير المادة العضوية على تيسر البورون في الأراضي الحامضية حيث تتكون معقدات ذائبة من البورون والمادة العضوية.

٣ – **قوام التربة**: بصفة عامة تقل كمية البورون الميسر للنبات في الأراضي خشنة القوام سريعة النفاذية، بالمقارنة بالأراضي ناعمة القوام. ونتيجة لقلة السعة التبادلية الأيونية للأراضي الرملية وبالتالي قلة أسطح الادمصاص للبورون فإنه يحدث فقد لهذا العنصر عن طريق الغسيل وخاصة في الأراضي الرطبة. وفي الأراضي الطينية يلعب نوع الطين السائد دوراً مهمًا في ادمصاص البورون، حيث وجد أن معدن الإيليت ذو قدرة مرتفعة على ادمصاص البورون يليه معدن المونتيموريللونيت وأقل هذه المعادن هو معدن الكاؤلينيت. وعمومًا يعتبر القوام ذا تأثير أقل على تيسر البورون بالمقارنة بتأثير المادة العضوية أو الـ **pH**.

٤ – **رطوبة التربة**: مع جفاف التربة تزداد الكمية المثبتة من البورون، وعلى ذلك فإن حالة الجفاف المؤقت للأرض قد تعوق حصول جذور النبات على البورون المدمص بكثرة على أسطح الغرويات الأرضية، وبالتالي تظهر حالة أعراض النقص على النبات. ومع زيادة الرطوبة يزداد معدل حركة البورون الذائب إلى سطح الجذور وبالتالي يزداد تيسره وانتشاره.

٥ – **تأثير العناصر الأخرى**: وجد أن هناك تضاداً Antagonises بين الكالسيوم والبورون، وعلى ذلك يقل درجة تيسر البورون في الأراضي القاعدية، يمكن تقليل السمية بالنسبة للبورون بإضافة الكالسيوم للأراضي الغنية بالبورون الذائب.

اختبارات التربة للبورون

تعتبر طريقة تقدير البورون الميسر بالتربة بواسطة الاستخلاص بالماء المغلي أكثر الطرق انتشارا، وفيها يتم الاستلخاص بماء مغلي مع الرج لمدة ٥ دقائق وتكون نسبة التربة:

المستخلص هى ١ : ٢ . وتعتبر الأراضى المحتوية على ٠,١ – ٠,٥ جزء فى المليون بورون ذائب فى الماء الساخن ذات إمداد ملائم وكاف لنمو معظم النباتات العادية. وعند إجراء اختبارات التربة للبورون يجب مراعاة: قوام التربة حيث تحتاج النباتات فى الأراضى الطينية الثقيلة إلى كمية ميسرة من البورون أكثر منها فى الأراض الرملية الخفيفة وعلى هذا يكون الحد الحرج من البورون فى مستخلص الأراضى الطينية ذات قيمة أعلى منها بالنسبة للأراضى الرملية. أيضًا بالنسبة لرقم pH التربة فإن هناك زيادة فى امتصاص النباتات للبورون بزيادة حموضة التربة وخاصة بالقرب من المدى القاعدى علما بأن هذه الزيادة ليست متوازية مع الزيادة فى تركيز البورون المستخلص بالماء الساخن لهذه الأرض. وعلى هذا يمكن القول أنه حتى عند المستوى المنخفض من البورون المستخلص بالماء الساخن فى الأراضى الحامضية قد لا تعانى النباتات النامية بهذه الأرض من نقص البورون، فى حين أنه عند نفس القيمة من البورون الميسر فى الأراضى القاعدية وجد أن النباتات النامية بها تعانى من شدة النقص. وأخيرا تعانى النباتات من السمية نتيجة زيادة لبورون فى حالة زيادة التركيز فى مستخلص الماء الساخن عن ٥ جزء فى المليون.

البورون فى النبات Boron in Plant

على الرغم من أن احتياجات النباتات المختلفة من البورون قليلة جداً إلا أن هناك مدى واسع بين النباتات فى الكميات المطلوبة من هذا لعنصر لها، فقد دلت بعض نتائج المزارع المائية والمزارع الرملية بأن نباتات الطماطم والجزر يمكن أن تنمو بصورة طبيعية جداً فى وجود البورون بتركيز منخفض جداً يصل إلى أقل من واحد جزء فى المليون. بينما قد يصل تركيز هذا العنصر فى هذه المزارع من ١٠ إلى ١٥جزءاً فى المليون لكى تنمو نباتات أخرى مثل بنجر السكر نمواً طبيعياً.

ويعتبر البورون مهمًا فى تغذية النبات لمساهمته فى كثير من العمليات الفسيولوجية والتى من أهمها:

أ – يساهم فى زيادة نشاط العديد من الإنزيمات، وضرورى لانقسام الخلايا.

ب – يزيد من مسامية الجدر وبالتالى يزيد من انتقال الكربوهيدرات، وعلى ذلك يحدث أقصى تراكم للنشا والسكر فى النباتات التى تحتوى على كمية غير كافية

من البورون.

جـ - يلزم فى تمثيل اللجنين وبعض التفاعلات الحيوية.

د - مهم فى تمثيل البروتين والأحماض النووية وبالتالى فإن نقص البورون الممتص يؤدى إلى تراكم النترات فى النبات.

هـ - ينظم النسبة بين الكالسيوم والبوتاسيوم فى النبات.

تركيز البورون فى النبات:

تختلف النباتات فيما بينها فى محتواها من البورون اختلافًا كبيرًا. ووجد أن النباتات ذات الفلقة الواحدة يقل محتواها من البورون بالمقارنة بالنباتات ذات الفلقتين، حيث وجد أن البسلة - الكرنب - القرنبيط والخردل تكون ذات محتوى عال جزئيًا من البورون. وتختلف أجزاء النبات الواحد فيما بينها فى محتواها من البورون فتركيز البورون فى الأوراق يكون مرتفعًا عنه فى السيقان، ويكون أعلى تركيز داخل أجزاء الورقة نفسها فى حوافها. وعمومًا يقل تركيز البورون داخل النبات ككل فى مراحل نموه الأولى، بينما يظل التركيز ثابتًا تقريبًا فى معظم مراحل النمو.

الحدود الحرجة داخل النبات :

تعتبر النباتات ذات محتوى من البورون أقل من ١٥ جزءًا فى المليون فى حدود النباتات التى تعانى من نقص البورون ويقل عن ذلك الرقم النباتات أحادية الفلقة جدول (٧-١٦). ويعتبر التركيز من ١٥ إلى ١٠٠ جزء فى المليون بورون هو التركيز الملائم والكافى لنمو النبات نموًا طبيعيًا دون مشاكل خاصة بالبورون، بينما بزيادة التركيز عن ٢٠٠ جزء فى المليون فإن النباتات تعانى من السمية.

جدول (٧-١٦) : الحدود الحرجة لتركيز البورون في النباتات المختلفة بالجزء في المليون

المحصول	الجزء المأخوذ للتحليل	حدود النقص	حدود الكفاية	حدود السمية
أحادية الفلقة				
الذرة	القمة النامية (٢٥) يوم	١ – ٢	٥ – ١٠	٢٥
القمح	القمة	< ٤	٥	—
الشعير	القمة	< ٨	٨ – ١٠	—
ذات الفلقتين				
البنجر	الأوراق	١٥ – ١٦	٢٧ – ٨٣	—
القطن	الأوراق	١٦	٣٠ – ٥٠	٥٥٢ –
الخس	الأوراق	—	٢٧ – ٤٣	١٦٢٥
فول سوداني	الأوراق	< ٢٥	—	٧٠ – ٨١٧
بنجر السكر	الأوراق	٤ – ٢٨	٢٥ – ٥٢	—
				—

عن FAO الـ ١٩٨٣.

أعراض نقص البورون على النبات

بصفة عامة يمكن التوقع بظهور أعراض نقص البورون على النباتات فى التربة التى تتوافر بها الخصائص التالية : إنخفاض محتواها من البورون الكلى، الأراضى الناشئة من صخور ذات أصل حامضى، الأراضى الرملية الحامضية، الأراضى ذات المحتوى المنخفض من المادة العضوية، الأراضى القاعدية والجيرية والأراضى الواقعة فى المناطق المتوسطة والغزيرة الأمطار. ومن العمليات الزراعية، الرى بالماء ذو المحتوى المرتفع من الكالسيوم وأخيراً التكثيف الزراعى.

يعتبر البورون من العناصر غير المتحركة داخل النبات، وعلى ذلك تظهر الأعراض أولاً على النموات الحديثة. وقد يتسبب نقص البورون فى ظهور عدد من الأمراض

الفسيولوجية التى تصيب النبات ومنها تعفن اللب فى بنجر السكر، التفاف الأوراق فى البطاطس، واللب البنى فى اللفت، والاسمرار فى القرنبيط. كذلك نتيجة لتأثير البورون على تمثيل البروتين فإن نقص البورون يؤدى إلى عدم تكوين البروتين وبالتالى عدم تكوين الأزهار وتأخر النضج، كذلك يعرقل تكوين السنابل وتتلون الأوراق الحديثة بلون أخضر مزرق داكن وتمتاز بزيادة سمكها وعدم انتظامها. كما يتأثر أيضًا نمو وتطور الجذور حيث تبدو سميكة – غير نظيفة ويوجد تبرقش فى قمتها.

وتختلف قدرة المحاصيل المختلفة على درجة تحمل نقص البورون فى الأرض. وأمكن تصنيف النباتات المختلفة تبعًا لقدرتها على تحمل التركيزات المنخفضة فى البورون فى الأرض إلى ثلاث مجموعات كما فى جدول (٧ – ١٧).

جدول (٧-١٧): حساسية بعض المحاصيل لنقص البورون في الأرض

نباتات حساسة	نباتات متوسطة الحساسية	نباتات عالية الحساسية
الفول، الشعير، الذرة الشوفان، البسلة، فول الصويا، البطاطس، الذرة الرفيعة، الأرز، القمح، الجريب فروت (موالح).	الكرنب، الجذر، القطن، الخس، الفجل، السبانخ، الخوخ، الكمثرى، والعنب.	البرسيم الحجازى، القرنبيط الكرفس، بنجر السكر، بنجر المائدة، اللفت، التفاح والورد.

عن الـ FAO سنة ١٩٨٣.

نماذج لأعراض نقص البورون على بعض النباتات صفحة ٤٨١ ، ٤٨٢

سمية البورون :

تعتبر الحدود الفاصلة بين التركيزات الملائمة والتركيزات التى تؤدى إلى السمية بالبورون قريبة جداً، وإن الزيادة فى تركيز البورون تؤدى إلى إعاقة النمو الطبيعى للنبات. وبزيادة تركيز البورون فى التربة يزداد امتصاصه وبالتالى ظهور أعراض السمية والتى تتمثل فى احتراق قمم الأوراق وظهور اللون الأصفر الباهت والذى ينتشر بين العروق

الجانبية متجهاً إلى العروق الوسطى. وتعتبر سمية البورون مشكلة فى الأراضى الموجودة فى المناطق الجافة وخاصة فى الأراضى الملحية الصودية والأراضى الناشئة من الترسيبات البحرية والأراضى التى يتم ريها بماء ذات محتوى مرتفع من البورون والأراضى الناشئة من مادة أصل غنية فى البورون وأخيراً الاستهلاك الزائد من الأسمدة الحاملة للبورون. ويمكن معالجة نقص البورون فى الأرض عن طريق إضافة الأسمدة المحتوية على العنصر (جدول ٧ – ١٨).

جدول (٧–١٨) : أسمدة البورون ونسبة البورون بها

المصدر	التركيب الكيميائى	النسبة المئوية للبورون
البوراكس	$N_2B_4O_7.10H_2O$	١١
تترابورات الصوديوم	Sodium tetraborate	
أ – سماد بورات ٤٦	$N_2B_4O_7.5H_2O$	١٤
ب – سماد بورات ٦٥	$N_2B_4O_7$	٢٠
حامض البوريك	H_3PO_3	١٧

وتعتبر طريقة الإضافة بالرش من أفضل الطرق لعلاج نقص البورون مع مراعاة التركيز الملائم فى محلول الرش. وقد يضاف البورون إلى الأرض وهنا يفضل أن يضاف تكبيشاً بجوار النبات عن الإضافة نثراً. وتختلف كمية السماد المستخدمة تبعاً لطريقة الإضافة.

أما من ناحية معالجة الزيادة من تركيز البورون فى الأرض، فإنه إذا كان مصدر هذه الزيادة هو ماء الرى فيجب استخدام مياه ذات محتوى أقل من البورون أو تخفيف المياه المرتفعة فى محتواها من هذا العنصر. كذلك يمكن زراعة بعض المحاصيل ذات درجات تحمل مرتفعة للبورون، ويمكن معالجة زيادة تركيز البورون أيضاً باستخدام الأسمدة النيتروجينية وبصفة خاصة نترات الكالسيوم حيث ثبت كفاءة هذا السماد فى معالجة سمية البورون، كذلك إضافة الجير بكمية معتدلة يساعد فى علاج آثار السمية.

الموليبدنم Molybdenum

الموليبدنم فى الأرض Molybdenum in Soil

يوجد الموليبدنم فى التربة بكميات قليلة بالمقارنة بباقى العناصر الصغرى مثل الحديد، المنجنيز، الزنك، والنحاس. وأن الأراضى الناشئة من الصخور القاعدية تحتوى على كمية أكبر من الموليبدنم بالمقارنة بالأراضى الناشئة عن الصخور الحامضية، ويوجد الموليبدنم فى الأرض فى عدة صور وهى:

- **المعادن الأرضية**: ومنها الموليبدنايت Powellite, Molybdenite (MoS_2) ($CoMoO_4$)، والفيروموليبدايت Ferromolybdite (Fe $(MoO_4)_3$. $8H_2O$). وأيضاً يوجد هذا العنصر فى تركيب بعض المعادن السيليكاتية ومنها الفلسبارات والميكا نتيجة حدوث عملية الإحلال المتماثل بين Mo^{4+} وAl^{3+} فى صفيحة الاوكتاهيدرا لهذه المعادن. والموليبدنم الموجود فى هذه الصورة درجة ذوبانه قليلة جداً. وفى بعض الأراضى وخاصة الحمضية منها يوجد الموليبدنم مرتبط مع الأكاسيد السداسية وهذه الروابط تكون ثابتة وعلى هذا يكون الموليبدنم الموجود فى هذه الصورة أيضاً درجة صلاحيته للنبات قليلة جداً.
- **الموليبدنم الموجود فى صورة أنيون MoO_4^{2-}**: والموجود على أسطح حبيبات التربة (ذات الشحنة الموجبة)، والـ Mo يكون ممسوكاً بروابط ثابتة وبالتالى تكون درجة تيسره للنبات قليلة.
- **الموليبدنم الموجود فى تركيب المادة العضوية**: يُصنف على أنه ذو أهمية من ناحية تغذية النبات.
- **الموليبدنم الذائب فى المحلول الأرضى**: كميته قليلة جداً وتتوقف على رقم الـ pH للتربة حيث يزداد ذوبان هذا العنصر فى الأراضى القاعدية.

الموليبدنم الكلى :

يوجد الموليبدنم الكلى فى الأرضى فى مدى يتراوح من ٠,٦ إلى ٣,٥ جزء فى المليون وبمتوسط عام ٢,٠ جزء فى المليون . ويرجع اختلاف الأراضى فى محتواها الكلى من هذا العنصر إلى مادة الأصل التى نشأت منها هذه الأرض .

الموليبدنم الميسر :

تتأثر الكمية الميسرة من الموليبدنم بعدة عوامل وهى :

١ – **رقم pH الأرض**: بعكس باقى العناصر المغذية الأخرى يزداد تيسر الموليبدنم مع زيادة رقم الـ pH للتربة، وبالتالى يزداد تيسره فى الأراضى القاعدية عنه فى الأراضى الحامضية . ويمكن تفسير ذلك بأنه يمكن أن يحدث تبادل أنيونى فى الأرض القاعدية بين أنيون الموليبدات المدمص وأنيون الهيدروكسيل الذائب فى المحلول الأرضى لهذه الأرض كما يمثلها الرسم التالى :

$$\text{clay}\left]\begin{matrix} MoO_4 \\ \\ MoO_4 \end{matrix}\right. + 2\,OH \rightleftharpoons \text{clay}\left]\begin{matrix} OH \\ OH \\ MoO_4 \end{matrix}\right. + MoO_4^{2-}$$

بينما فى الأراضى الحامضية يحدث إدمصاص له على أسطح الغرويات الأرضية وخاصة الأكاسيد السداسية للحديد والألومنيوم والتى يكون قوة الربط بها شديدة، وعلى هذا يُعتبر الإدمصاص فى هذه الحالة عملية تثبيت للموليبدنيم وإعاقة لتيسره للنبات .

٢ – **المادة العضوية**: وجدّ أن للمادة العضوية القدرة على تكوين مركبات معقدة مع الموليبدنم Mo-OM complexes قد تحمى الموليبدنم من التثبيت والتحول إلى صورة غير ميسرة للنبات، فبحدوث عملية المعدنة للمادة العضوية يتحول الموليبدنم إلى صورة صالحة للنبات . أيضاً إضافة المادة العضوية للأرض يعزز من تيسر الموليبدنم الموجود أصلاً بالأرض Native Mo .

٣ - **قوام الأرض**: يلعب قوام التربة دوراً مهماً فى كمية الموليبدنم الميسرة للنبات، حيث وجد أن الأرض الرملية تعانى من نقص الموليبدنم وذلك لسهولة فقده من محلول التربة وذلك لعدم وجود أسطح إدمصاص لهذه الأرض. والعكس فى الأراضى ثقيلة القوام حيث يحدث إدمصاص للموليبدنيم على أسطح غرويات التربة وتختلف قدرة الأرض الطينية على إدمصاص الموليبدنم حسب نوع معادن الطين السائدة بها.

٤ - **كربونات الكالسيوم**: وجد أن كربونات الكالسيوم تلعب دوراً مهماً فى تيسر الموليبدنم للنبات وخاصة فى الأراضى الحامضية، ويفسر ذلك بتأثير كربونات الكالسيوم على رفع رقم الـ pH للتربة مما يزيد من انطلاق الموليبدنم المدمص على أسطح الغرويات الأرضية إلى المحلول الأرضى.

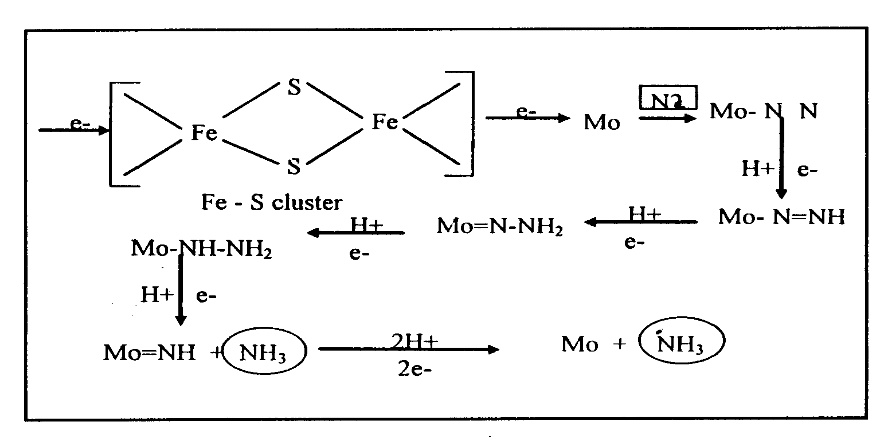
٥ - **التداخل مع الأيونات المغذية الأخرى**: يعتبر وجود الفوسفات الذائبة فى المحلول الأرضى عامل مشجع على زوبان الموليبدات وامتصاصها بواسطة النبات، وفى بعض الأحيان ترتبط سمية الموليبدنم للنبات بزيادة كميات الفوسفات الذائبة فى المحلول الأرضى. والعكس فى حالة زيادة الكبريتات الذائبة فى المحلول الأرضى حيث يحدث إعاقة لامتصاص الموليبدات بواسطة النبات ويُفسر ذلك بحدوث تنافس بين أنيون الكبريتات SO_4^{2-} وأنيون الموليبدات MoO_4^{2-} على مواقع الإدمصاص على أسطح الجذور خلال عملية الامتصاص. وهناك أيضا ظاهرة التضاد **Antagonism** بين الموليبدنم والنحاس، حيث إن الزيادة من النحاس الميسر يؤدى إلى خفض الكمية الممتصة من الموليبدنم بواسطة النبات، وأمكن معالجة السمية الناشئة عن الموليبدنم بإضافة النحاس إلى التربة. وأخيراً فإن الزيادة من أكسيد الحديديك Fe_2O_3 تسبب نقصاً فى الموليبدنم الميسر للنبات.

٦ - **رطوبة التربة**: يزداد الموليبدنم الميسر للنبات فى التربة بزيادة رطوبة تلك الأرض.

الموليبدنم فى النبات Molybdenum In Plant

ويوجد هذا العنصر بكميات قليلة جداً فى النبات بالمقارنة بالعناصر المغذية الأخرى، وهذا يدل على أن احتياجات النبات من الموليبدنم تكون قليلة وهذا لا ينفى ضروريته للنبات. حيث يلعب هذا العنصر دوراً مهماً فى تمثيل النيتروجين فى النبات ويرجع ذلك لأن نيتروجين النترات موجود فى درجة عالية من التأكسد NO_3^-، فى حين أن الأحماض

الأمينية والمركبات العضوية الأخرى تحتوى على النيتروجين فى درجة عالية من الاختزال. وبالتالى فاختزال النيتروجين هو إحدى خطوات تخليق الأحماض الأمينية والمركبات النيتروجينية الأخرى فى حالة ما إذا كانت النترات هى مصدر النيتروجين. ويتمثل دور المولیبدنم فى اختزال النترات بواسطة إنزيم النيتروجينيز **Nitrogenase** وإنزيم **Nitrate reductase** فى إنه يعمل كعامل مساعد لهذه الإنزيمات، حيث يحتوى كل جزىء من إنزيم النيتروجينيز على ذرتين موليبدنيم والتى تكون مرافقة للحديد (من ٢٤ – ٣٦ ذرة حديد لكل جزىء إنزيم)، وبعض هذه الإنزيمات تكون عناقيد من الحديد والكبريت **4Fe - 4S cluster** كما فى الفيرودوكسين **Ferredoxin**، كما يوضحها شكل (٧–٢) عن **(Marschner)** سنة ١٩٩٥. ويدخل الموليبدنم فى عملية الاختزال للنيتروجين مباشرة، فى حين يكون الحديد ناقل للإلكترونات. وعلى ذلك يعتبر هذا العنصر عامل مساعد فى تثبيت النيتروجين N_2 إلى NH_3 ومن هنا يكون الموليبدنم عنصراً مهما للنباتات البقولية والبكتريا المثبتة للنيتروجين. وبالتالى يمكن القول بأن احتياج النبات للموليبدنيم يزداد فى حالة زيادة التسميد النتراتى، كذلك وجد أن الموليبدنم يلعب دوراً فى تكوين حمض الأسكوربيك.



شكل (٧–٢): دور الموليبدنم في اختزال النيتروجين إلي أمونيا

ويلاحظ من التخطيط أن الموليبدنم يرتبط بالنيتروجين العنصرى ثم يتم اختزاله على عدة مراحل مع التغذية المستمرة بالإلكترونات، وفى النهاية يتكون جزىء الأمونيا.

تركيز الموليبدنم فى النبات :

يختلف تركيز الموليبدنم اختلافاً كبيراً بين النباتات المختلفة. فهناك بعض النباتات يكون تركيز هذا العنصر فى الأجزاء الخضرية بها أقل من واحد جزء فى المليون ومنها البرسيم الحجازى (٠,٣٤)، الشعير (<٠,٠٣)، الفول (٠,٤) والطماطم (٠,٧٨). وهناك نباتات يكون تركيز الموليبدنم مرتفعاً فى أوراقها ومنها القطن (١١٣ جزءاً فى المليون)، وبصفة عامة يكون التركيز فى معظم النباتات منحصر بين ٠,١ و ٢,٠ جزء فى المليون. ويجب التذكر بأن الجزء النباتى المأخوذ كعينة نباتية لتقدير الموليبدنم يكون ذات أهمية كبرى نتيجة لاختلاف تركيز هذا العنصر فى الأجزاء المختلفة لنفس النبات، فمثلاً وجد أن أوراق النبات تحتوى على كمية أكبر من الموليبدنم بالمقارنة بالسيقان لنفس النبات، وأكثر من ذلك نجد أن منتصف الورقة حول العرق الأوسط (منطقة دعامة الورقة) كذلك حواف الورقة تحتوى على كميات أكبر من الموليبدنم بالمقارنة بباقى أجزاء نفس الورقة.

الحدود الحرجة للموليبدنيم فى النبات :

على الرغم من اختلاف تركيز الموليبدنم فى الأنواع المختلفة من النباتات، لكن يمكن القول فإن هذه النباتات تستجيب للمعاملة بهذا العنصر إذا كان تركيزه داخل النبات أقل من ٠,١ جزء فى المليون (وهو حدود النقص داخل النبات). ويمكن للنباتات أن تتحمل التركيز المرتفع من هذا العنصر، ولكن زيادة التركيز فى نباتات العلف عن ١٥ جزءاً فى المليون يؤدى إلى حدوث مشاكل صحية مع الحيوانات التى تتغذى على تلك الأعلاف ويسبب ظهور مرض يسمى "Molybdenosis" أو Teat disease.

أعراض نقص الموليبدنم على النباتات :

بما أن الموليبدنم يدخل فى صميم عمليات ميتابوليزم النيتروجين N- metabolism داخل النبات، فعلى ذلك تكون أعراض نقص هذا العنصر مشابهة لأعراض نقص النيتروجين، وهذا التشابه مع أعراض نقص النيتروجين يكون واضحاً فى النباتات

البقولية، فبنقص الموليبدنم من وسط نمو تلك النباتات يؤثر على كمية النيتروجين المثبتة بواسطة البكتريا الموجودة فى العقد الجذرية بجانب تأثيره على عملية اختزال النترات داخل النبات. ونقص الموليبدنم يؤدى إلى إعاقة النمو الطبيعى للنبات، والأوراق تصبح شاحبة اللون وفى النهاية يحدث الذبول لتلك الأوراق. كذلك يسبب نقص هذا العنصر مرض البقع الصفراء "Yellow spot" فى الموالح ومرض الذيل السوطى "Whip tail" فى العائلة الصليبية، وتظهر الأعراض بوضوح على نبات القرنبيط فى التواء الأوراق ضد عقرب الساعة Counter clockwiss ونمو غير طبيعى لعروق الأوراق ويعجز النبات عن تكوين رؤوس القرنبيط.

نماذج لأعراض نقص الموليبدنم على بعض النباتات صفحة ٤٨٣ ، ٤٨٤

حساسية النباتات لنقص الموليبدنم فى الأرض:

تختلف نباتات فيما بينها فى درجة حساسيتها لنقص هذا العنصر فى الأرض، حيث تعتبر نباتات العائلة الصليبية والبقولية من أكثر النباتات احتياجاً للموليبدنيم حيث تتأثر بنقص الموليبدنم فى التربة. بينما نباتات الحبوب تنمو نمواً طبيعياً تحت هذه الظروف من نقص هذا العنصر. وجدول (٧-١٩) يبين مدى اختلاف النباتات فى درجة الحساسية لنقص الموليبدنم فى الأرض.

جدول (٧-١٩): حساسية بعض المحاصيل لنقص الموليبدنم

درجة الحساسية	المحصول
منخفضة	الشعير- الفول- الجذر- الكرفس- الذرة- القطن- البطاطس- الذرة الرفيعة- الأرز- القمح- التفاح- الخوخ والعنب
متوسطة	البرسيم الحجازى- الكرنب- الشوفان- فول الصويا- الفجل- بنجر السكر- بنجر المائدة- الطماطم- اللفت والموالح
عالية	القرنبيط- البرسيم- الخس والسبانخ

ولعلاج نقص الموليبدنم فى التربة هناك العديد من المركبات المستخدمة كمصدر للموليبدنيم يبينها جدول (٧-٢٠).

جدول (٧-٢٠): أهم المركبات السمادية المستخدمة كمصدر للموليبدنم

المصدر	التركيب الكيميائي	٪ للموليبدنم
موليبدات الصوديوم	$Na\,MoO_4.2H_2O$	٣٩
موليبدات الأمونيوم	$(NH4)_6\,Mo_7O_{24}.4H_2O$	٥٤
ثالث اكسيد الموليبدنم	MoO_3	٦٦

ومن ناحية طريقة ومعدل إضافة الأسمدة التي تحوى على الموليبدنم فهي تختلف حسب نوع التربة وقدرتها على تثبيت هذا العنصر كذلك على نوع المحصول نفسه. والطرق المستخدمة هي الإضافة الأرضية وفيها يضاف الموليبدنم بمعدل ٧٠ إلى ٢٠٠ جرام موليبدنم / هكتار، وهذا المعدل كاف لمحاصيل العلف والبقوليات والعديد من محاصيل الحقل، بينما هناك بعض محاصيل الخضر ومنها القرنبيط يحتاج إلى زيادة هذا المعدل إلى ٤٠٠ جرام / هكتار. وتعتبر الإضافة بالرش من الطرق الفعالة وخاصة في حالة الأراضي ذات القدرة العالية على تثبيت الموليبدنم، وفي هذه الطريقة يتم عمل محلول من الملح المحتوى على الموليبدنم بتركيز من ١,٠ - ٣,٠٪. ومن الطرق الفعالة في إضافة الموليبدنم طريقة معاملة البذور بكمية من العنصر المحدد إضافتها لوحدة المساحة والتي عادة تكون بمعدل ٥٠ - ١٠٠ جرام / هكتار، حيث يتم توزيع هذه الكمية الصغيرة والمجهزة في صورة سائل أو عجينة خفيفة بطريقة متجانسة على كل البذور التي سوف تُستخدم كتقاوى.

الكلـورين Chlorine

الكلورين فى الأرض Chlorine in Soil

لا يرتبط وجود الكلورين فى الأرض بوجود الغرويات الأرضية وصور تواجده فى التربة هى :

– الغالبية العظمى منه توجد فى صورة أيونية Cl^- ولذلك يكون على درجة عالية من الذوبان وبالتالى يكون عرضة للفقد بالغسيل بدرجة كبيرة .

– يتواجد الكلورين داخل بعض المركبات العضوية فى الأرض .

محتوى الأرض من الكلورين

عادة تتراوح كمية الكلورين Cl^- الذائبة فى الماء ١٠٠ – ١٠٠٠ كجم / هكتار . ويحدث تراكم للكلوريد فى الأراضى المتأثرة بدورة مياه البحار . أى أنه من المتوقع أن تكون الأراضى المتاخمة للبحار ذات محتوى مرتفع من الكلوريد بالمقارنة بالأراضى البعيدة عن البحار . كما تؤثر أيضاً نوعية مياه الرى وحالة الصرف على كمية الكلوريد بالأرض . والأراضى التى تحتوى على الكلورين بتركيز أقل من ٢ جزء فى المليون ربما تعانى النباتات النامية بها من نقص الكلورين .

الكلورين فى النبات Chlorine in Plants

الوظائف الحيوية للكلورين :

يحتاجه النبات بتركيز منخفض يصل إلى ٠,٠٥ جزء فى المليون ، وتمكن الوظيفة الأساسية للكلورين فى كونه عامل أساسى لإتمام عملية الأكسدة الضوئية للماء أثناء عملية التمثيل الضوئى وانطلاق الأكسجين . ويقوم ببعض الوظائف الأخرى غير المتخصصة أى كعامل مساعد فى اختزال بعض المركبات الغنية فى الطاقة وإنتاج بعض المركبات أثناء التمثيل الضوئى . أيضاً يساعد فى رفع الضغط الإسموزى للخلايا ويزيد من تأدرت الأنسجة النباتية .

محتوى النباتات من الكلورين

تختلف النباتات كثيراً فى محتواها من الكلورين حيث يتراوح هذا المدى من ٠,٠١٥ – ٥,٥ ٪ من المادة الجافة. والكلورين غير متحرك نسبياً داخل النبات حيث وجد أن تركيز هذا العنصر مرتفع فى الأوراق المسنة السفلية عنه فى الأوراق الحديثة. ومن المعلومات القليلة الميسرة عن هذا العنصر، يتضح أن النباتات تلجأ إلى تجميع الكلورين فى أنسجتها مع تقدم عمرها. ومع ذلك فالنباتات التى تحتوى أنسجتها على الكلورين بتركيز أقل من ١٠٠ جزء فى المليون قد تعانى من نقص هذا العنصر.

أعراض نقص الكلورين على النبات

تحت الظروف الطبيعية نادراً ما يظهر على النباتات أعراض نقص لعنصر الكلورين. حيث يكون من الصعب ظهور أعراض نقص حتى تحت ظروف المعمل ويرجع ذلك لحدوث التلوث بهذا العنصر من الغلاف المحيط بالنبات. وعموماً إذا حدث وظهرت على النبات أعراض نقص للكلورين تتمثل هذه الأعراض فى ظهور إصفرار على الأوراق الحديثة وذبول هذه الأوراق.

السمية الناتجة عن زيادة الكلورين فى المحلول الأرضى عادة ما تظهر على النباتات النامية فى الأراضى المتأثرة بالأملاح أو فى المناطق الساحلية. وتتمثل الأعراض الناتجة عن السمية فى احتراق حواف الأوراق، ظهور اللون البرونزى **Bronzing colour**، نضج مبكر للأوراق وإصفرارها ويحدث لها تساقط مفاجىء. وتختلف المحاصيل فى درجة حساسيتها وبالتالى درجة تحملها للكلورين فى التربة كما يلى:

– محاصيل عالية فى درجة تحملها مثل: بنجر السكر– الشعير– الذرة– السبانخ والطماطم.

– محاصيل حساسة: اللوبيا– الفاصوليا– الموالح– البطاطس– الخس– بعض البقوليات.

الأسمدة المحتوية على الكلورين

يوجد العديد من الأسمدة التى تحتوى على الكلورين منها الأسمدة المعدنية مثل (كلوريد البوتاسيوم– كلوريد الأمونيوم) والأسمدة العضوية. ويصل الكلورين إلى

الأرض مع مياه الرى الغنية بالكلورين كما يصل هذا العنصر إلى الأرض فى المناطق الساحلية مع الرذاذ الناتج من مياه البحر. ومما لا شك فيه أن نقص الكلورين يؤثر على إنتاجية بعض المحاصيل، حيث وجد أن نباتات نخيل الزيوت وجوز الهند تستجيب لإضافة الكلورين فى الأراضى الفقيرة فى هذا العنصر.

العلاقة المتبادلة بين العناصر المغذية

Interaction Effects Between Nutrieuts

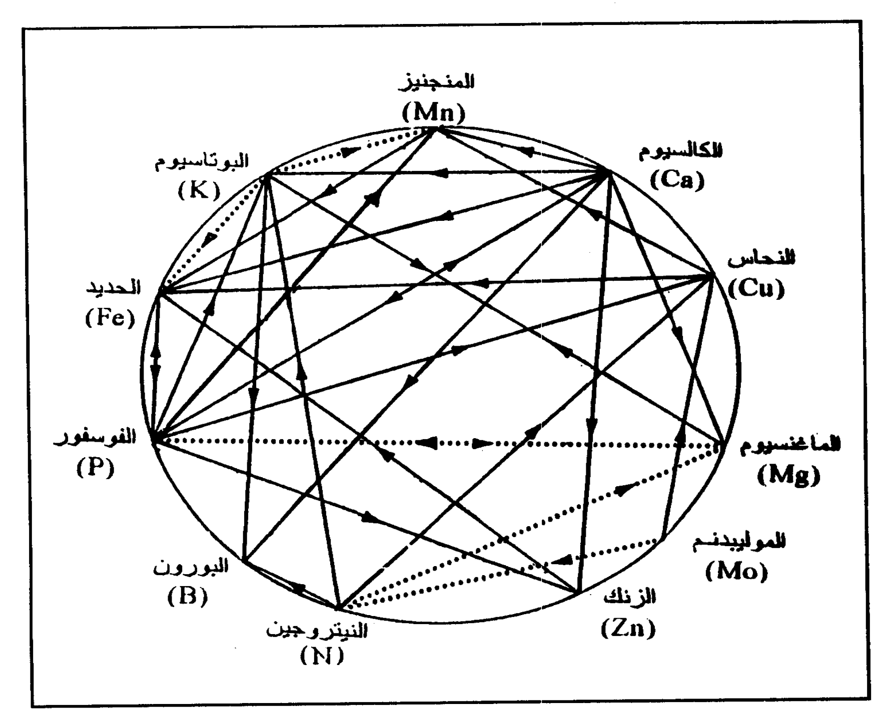
هنا يجب ذكر أن هناك اختلافاً فى درجة استجابة النباتات لإضافة كمية معينة من عنصر معين عند المستويات المختلفة من العناصر الغذائية الأخرى، ويرجع ذلك لأن كفاءة العنصر الغذائى تتحدد بكمية العناصر الأخرى والميسرة للنباتات، وهذا ما يعرف بالتأثيرات المتبادلة بين العناصر Interaction effects between elements. ويختلف مدى التفاعل تبعاً لنوع العنصر ونوع النبات، حيث يوجد تنافس بين بعض الأيونات مع بعضها الآخر عند امتصاصها بواسطة جذور النبات، وقد تؤدى زيادة تركيز أحد الأيونات فى وسط النمو إلى تقليل امتصاص أيون أو أيونات أخرى من وسط النمو ويسمى هذا بالتضاد Antagonism. فى حين قد تؤدى زيادة تركيز الأيون إلى زيادة امتصاص أيونات أخرى ويسمى هذا بالتنشيط Synergism، وتختلف الآراء فى تفسير سبب هذا التنافس، ففى حين يعتقد البعض أن هذا التنافس غير متخصص Nonspecific بمعنى أن زيادة تركيز كاتيون أو أنيون معين فى وسط النمو يؤدى إلى تقليل امتصاص كل الكاتيونات أو الأنيونات، نجد أن البعض الآخر يعتقد عكس ذلك من حيث أن هذا التنافس متخصص Specific بمعنى أن زيادة تركيز كاتيون أو أنيون معين يؤدى إلى تقليل معدل امتصاص كاتيون أو أنيون آخر وليس باقى الكاتيونات أو الأنيونات.

ومن السابق يلاحظ أنه لم يعد كافياً دراسة أو إجراء تجارب فى مجال تغذية النبات لكل عنصر على حده، ولكن لابد من إدخال كل العناصر فى الاعتبار، وأكثر من ذلك يجب حساب النسب بين العناصر بعضها إلى البعض الآخر، حيث إن ذلك يكون مُفضل عن استعمال درجة التركيز لعنصر واحد، وذلك عند دراسة التأثير المتبادل بين العناصر الغذائية فى الأرض للوقوف على مدى خصوبة الأرض.

ومن الشكل (٧-٣) والذى يوضح هذه العلاقات بين العناصر يلاحظ أن :

- أن النيتروجين(N) ينشط أو يحفز Stimulate امتصاص الماغنسيوم ولكن يثبط أو يضاد Antagonist النحاس، والبوتاسيوم والبورون.

- الفوسفور (P) ينشط امتصاص الماغنسيوم ولكن يضاد الكالسيوم، والبوتاسيوم، والزنك، والنحاس، والمنجنيز.



علاقة تنشيط فى اتجاه السهم

علاقة تثبيط (تضاد) فى اتجاه السهم

شكل (٧-٣) : العلاقة بين العناصر المغذية المختلفة

- البوتاسيوم (K) ينشط المنجنيز والحديد ولكن يثبط الماغنسيوم والبورون.
- الكالسيوم (Ca) لا يُحفز شيئاً ولكن يضاد الكثير من العناصر مثل: الماغنسيوم والبوتاسيوم والمنجنيز والحديد والبورون والزنك.
- الزنك (Zn) يضاد الحديد.
- الحديد (Fe) يضاد الفوسفور.
- المنجنيز (Mn) يضاد الحديد.
- البورون (B) مسالم لا يضاد أى عنصر، ولكن لا يسلم من تضاد بعض العناصر الكبرى له مثل: النيتروجين والبوتاسيوم والكالسيوم.
- النحاس (Cu) يضاد الحديد والمنجنيز.
- الموليبدنم (Mo) يحفز النيتروجين ويضاد النحاس.

المركبات المخلبية (الكيلاتية) الصناعية

Synthetic Chelates Compounds

من استعراضنا لنوعية الأسمدة المستخدمة كمصادر للعناصر المغذية الصغرى نجد أن معظم هذه العناصر يُفضل إضافتها على صورة مركبات مخلبية، وخاصة فى الأراضى القاعدية والجيرية. وعلى ذلك أصبح وجوبًا علينا التعرف على هذه المركبات ولو بشىء من الإيجاز.

إن اصطلاح كلمة Chelates أو «مخلبيات» يُنسب إلى الكلمة اليونانية Claw والتى تعنى المخلب أو «الكيلاتى». وعلى هذا فالمركبات المخلبية هى مركبات لها القدرة على خلب أو مسك بعض المعادن وحفظها بداخلها، ووسيلة الخلب هنا هى الشحنات الكهربائية. والمركبات المخلبية المستخدمة فى المجال الزراعى وخاصة فى تغذية النبات هى مركبات عضوية تتحد مع بعض الأيونات المعدنية مثل الحديد، النحاس، المنجنيز أو الزنك وتكون مركب كيلاتى للمعدن Metal Chelates، وهو مركب ذا بناء حلقى مع أحد هذه الكاتيونات، ويؤدى ذلك إلى فقد هذا الأيون (العنصر) المرتبط لخواصه الأيونية، وعلى ذلك ينعدم نشاطه وبالتالى لا يتفاعل هذا العنصر مع أى أيونات أخرى موجودة فى التربة والشكل (٧ – ٤) يوضح هذه الفكرة.

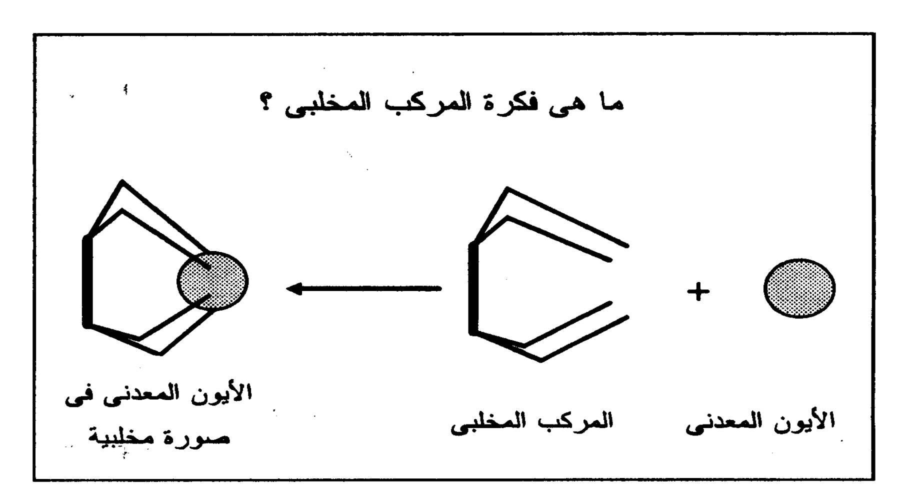
وعلى هذا يمكن إضافة العنصر المغذى فى صورة كيلاتية لتغذية النباتات النامية فى أرض ذات مشاكل تعمل على تثبيت هذا العنصر دون الخوف من دخول هذا العنصر فى تفاعلات كيميائية أو حدوث تبادل أيونى له، حيث تحافظ هذه المركبات على العنصر فى صورة قابلة للامتصاص بواسطة النبات. ولتوضيح ذلك نسوق المثال التالى: عند إضافة الحديد إلى التربة فى صورة أملاح معدنية وليكن كبريتات الحديديك فنجد أن هناك احتمال حدوث تفاعل أو أكثر من التفاعلات الآتية:

$$Fe^{3+} + 3\,OH^{-} \Rightarrow Fe\,(OH)_3 \downarrow$$

$$Fe^{3+} + PO_4^{3-} \Rightarrow Fe\,PO_4 \downarrow$$

$$Fe^{3+} + 3\,CO_3^{2-} \Rightarrow Fe_2(CO_3)_3 \downarrow$$

ويرجع ذلك لاحتمال وجود أيونات الأيدروكسيل، الفوسفات أو الكربونات فى المحلول الأرضى. وعلى هذا يحدث ترسيب للحديد فى صورة أيدروكسد حديديك أو فوسفات حديديك أو كربونات حديديك ويصبح فى صورة غير ميسرة للنبات.



شكل (٧ - ٤): رسم تخطيطي يوضح فكرة تكوين المركب المخلبي للعناصر المعدنية

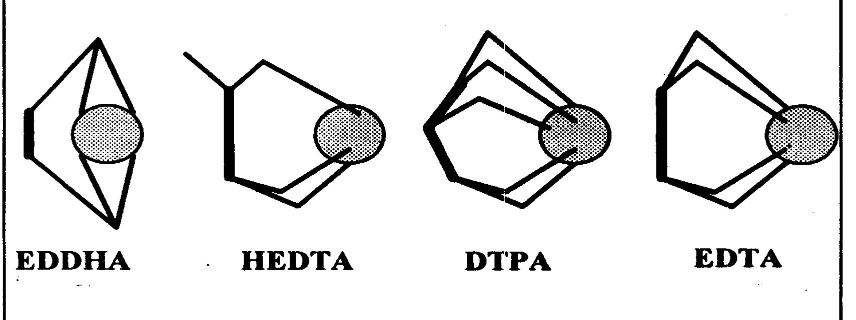
بينما فى حالة إضافة هذا العنصر فى صورة مخلبية فيمكن حمايته من الترسيب، وهناك العديد من هذه المركبات يوضحها شكل (٧ - ٥).

EDTA: Ethyline diamine tetra acetic acid.

DTPA: Diethyline triamine penta acetic acid.

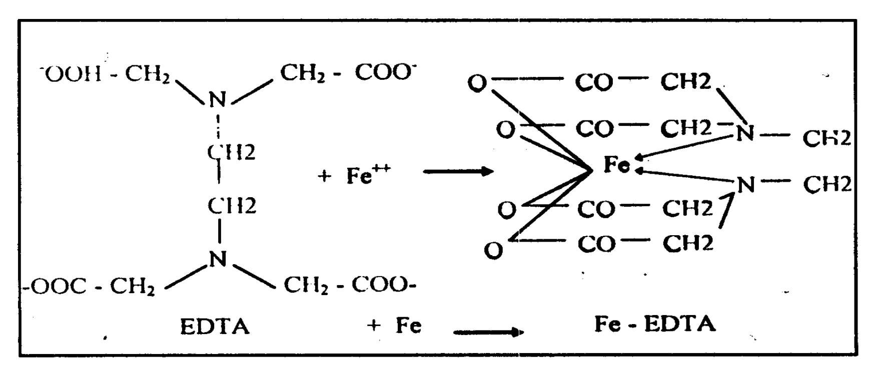
HEDTA: Hydroxyle Ethyline diamine tri acetic acid.

EDDHA: Ethyline diamine di-o-hydroxyphenyl acetic acid.



شكل (٧ – ٥) : رسم تخطيطي لبعض المركبات المخلبية

ويمكن توضيح التركيب البنائى لمركب Fe - EDTA كما يلى :



واستعمال هذه المركبات كمصدر لإمداد النبات بالحديد عملية واسعة الانتشار وناجحة طالما يتم اختيار المركب المناسب تبعا لصفات الأرض، وخاصة رقم الـ pH ويمكن توضيح ذلك كما يلى :

pH < 6 : Fe - EDTA

pH < 7 : Fe - DTPA } (+Cu, Mn, Zn - EDTA)

pH > 7 : Fe - EDDHA

وترتيب مركبات الحديد المخلبية من حيث درجة ثباتها فى الأرض كما يلى :

Fe - EDDHA > Fe - DTPA > Fe - HEDTA > Fe - EDTA

وتعتبر معادن المركبات المخلبية ذائبة فى الماء، وحيث إن ثوابت تأين هذه المركبات منخفضة فإن التربة لا تستطيع تثبيت عناصرها . وتوجد المركبات المخلبية فى حالة عدم وجود العناصر المعدنية مثل الحديد والنحاس والزنك أو المنجنير على صورة أملاح صوديوم أو أحماض عضوية وعند إضافتها إلى الأرض يكون لها القدرة على جذب العناصر المعدنية الثقيلة من صورها الغير ذائبة فى الأرض . حيث وجد أنه من الممكن معالجة نقص الحديد بواسطة إضافة مركبات الصوديوم المخلبية مباشرة إلى الأرض فى منطقة نمو الجذور .

ومن الجدير بالذكر أن من نواتج تحلل المخلفات النباتية والحيوانية فى الأرض مركبات عضوية مثل حمض الهيوميك، حامض الفلفيك وأحماض عضوية أخرى بسيطة . مثل هذه المركبات تعتبر مواد مخلبية طبيعية لها القدرة على تكوين مركبات حلقية معقدة مع بعض العناصر، وبالتالى تحفظ هذه العناصر لفترة من الترسيب . كما أن هذه المركبات الطبيعية قد تعمل على إذابة بعض العناصر الصغرى مما يزيد من تيسر هذه العناصر وتجعلها فى الصورة الصالحة للنبات .

ويمكن إيجاز أهم مميزات المركبات المخلبية فى النقاط التالية :

١ - يمكن استخدام معظم العناصر الصغرى على هذه الصورة المخلبية .

٢ - لا يحدث ترسيب للعناصر المرتبطة معها فى المدى الملائم pH من المحلول لهذه المركبات .

٣ – تكون العناصر الصغرى فى صورة صالحة للنبات حتى فى الأراضى القاعدية أو الجيرية.

٤ – يمكن إضافتها مع العناصر الكبرى مثل NPK أو مع المبيدات الحشرية.

٥ – لها القدرة على مقاومة التحلل بالكائنات الأرضية الدقيقة.

طرق إضافة المركبات المخلبية

أولا: الإضافة إلى التربة Soil Application

يمكن إضافة المركبات المخلبية عن طريق التربة سواء كانت هذه المركبات فى صورة سائلة أو صلبة، وذلك كمصدر للعناصر الصغرى لإمداد النبات بها أو لعلاج أعراض نقصها. ويتم إضافة الصورة السائلة بعدة طرق مختلفة وهى: مع مياه الرى بالتنقيط، أو الحقن، أو بالرش على سطح التربة. فى حين تضاف الصورة الصلبة على هيئة مسحوق أو حبيبات أو مغلفة لحبيبات بعض أسمدة العناصر الكبرى. وبصفة عامة تتوقف الصورة التى يضاف عليها المركب على نوع المحصول، ونوع التربة، والظروف البيئية المحيطة حتى يتم الاستفادة القصوى من إضافة هذه المركبات. ومن الضرورى إجراء التحليل الكيميائى لتقدير كمية العناصر بالتربة لتحديد الكمية الواجب إضافتها من هذه العناصر. ويعتبر مركب EDTA هو الأكثر استخدامًا للعناصر الصغرى، وعن طريق التربة، فيما عدا الحديد خاصة فى الأراضى القاعدية والجيرية، حيث وجد أن قوة انجذاب أيون الكالسيوم لمركب EDTA تفوق قوة انجذاب الحديد لهذا المركب. ويحدث العكس مع مركب EDDHA، حيث يكون الحديد أكثر ثباتًا تحت هذه الظروف.

ثانيًا: الإضافة بالرش Foliar Application

ولإيضاح مدى أهمية استخدام المركبات المخلبية فى علاج حالات النقص بالعناصر الصغرى مقارنة بالمركبات المعدنية، ويمكن القول بأن كفاءة الاستخدام لأى مركب سمادى تعتمد على قابلية هذا المركب للذوبان فى الماء، ومعنى ذوبان الملح فى الماء هو حدوث تأين مكونات هذا الملح إلى شقين هما الأنيون والكاتيون، وعلى هذا يكون العنصر المراد إضافته لعلاج النقص يكون فى حالة أيونية، أى يحمل شحنة كهربائية سواء كانت سالبة أو موجبة. وفى حالة العناصر الصغرى تكن الغالبية منها فى صورة

كاتيون. على ذلك عند استخدام الأسمدة المعدنية فى علاج حالات النقص عن طريق الرش أو التسميد الورقى فإن العنصر ذو الشحنة الموجبة يقابله شحنة سالبة على سطح بشرة الأوراق، وبالتالى يحدث تجاذب بين الشحنتين، وفى النهاية يكون مرور العنصر إلى الداخل بطىء أو يلاقى صعوبة فى المرور إلى داخل الورقة. بينما فى حالة استخدام المركبات المخلبية كمصدر لنفس العنصر نجد أن المركب المخلبى يعادل شحنة العنصر، فى النهاية يكون صافى الشحنة للمركب والعنصر معا متعادلة، أى ينعدم نشاط شحنة هذا العنصر، وبالتالى يكون من السهل امتصاصه ومروره خلال بشرة الورقة. وعلى ذلك نجد أن فاعلية إضافة العناصر المعدنية فى صورة مركبات مخلبية يكون أكبر بالمقارنة بإضافة نفس العنصر فى صورة معدنية.

لا تتوقف فائدة المركبات المخلبية عند إضافتها بالرش على المحافظة على العناصر فى صورة ميسرة للنبات فقط، بل أكثر من ذلك فهى تسهل من انتقال هذه العناصر من الورقة إلى باقى أجزاء النبات، ربما يكون ذلك هو السبب فى جعل تأثير إضافة العناصر على الصورة المخلبية أكثر فاعلية منها على الصورة المعدنية فى حالة علاج نقص هذه العناصر على النبات. ويعتبر مركب EDTA هو الأكثر استخداماً لكل العناصر الصغرى (جدول ٧ - ٢١). هذا ويعتبر ثمن المركبات المخلبية أغلى منه بالنسبة للمركبات المعدنية وهذا طبيعى نتيجة عمليات التصنيع، لكن نظراً لأن فاعلية المركبات المخلبية أكبر فإنه يستخدم كمية أسمدة أقل وبالتالى يمكن التغلب على فرق الأسعار.

ثالثاً: الإضافة للمزارع اللاأرضية Application in Soilless Culture

فى الآونة الأخيرة وعلى مستوى بلاد عديدة من العالم ازداد استخدام المزارع اللاأرضية فى أنتاج كثير من المحاصيل، وخاصة محاصيل الخضر والزهور وذلك داخل الصوب الزجاجية للتغلب على الظروف البيئية غير الملائمة، ويتم تنمية هذه المحاصيل فى بيئات خاصة بذلك سوف نتعرض لها لاحقاً إن شاء الله، أو فى مزارع محاليل مغذية كما هو الحال فى مزارع الأغشية المغذية (Nutriemt Film Technique (NFT، وذلك بدلاً من التربة، ويتم التغذية فى مثل هذه المزارع بالمحاليل المغذية، وعلى هذا يكون من الضرورى الحفاظ على العناصر الموجودة به فى صورة ذائبة دون حدوث ترسيب لها، وتعتبر المركبات المخلبية للعناصر الصغرى ذات أهمية فى هذا المجال، ويوجد حالياً بعض

مركبات العناصر الصغرى المخلبية والتى تحتوى أيضاً على بعض أيونات العناصر الكبرى مثل K^+, NH_4^+ بدلاً من أيون الصوديوم وتستخدم بنجاح فى مثل هذه المزارع.

جدول (٧ – ٢١): خصائص المركبات الكيلاتية للعناصر الصغري وطرق إضافتها

المركب	الصورة الموجود عليها	نسبة العنصر (٪)	درجة الذوبان جم / لتر	طرق الإضافة
مركبات الحديد				
EDTA - FeK	سائل	٦		رش، تربة
EDTA - Fe Na. $3H_2O$	مسحوق	١٣	٩٠	رش، تربة
EDTA $FeNH_4$. NH_4OH	سائل	٧		رش، تربة
EDTA- $FeNH_4$. NH_4OH	مسحوق	١٣	١٠٠٠	رش، تربة
DTPA - $Fe(NH_4)_2$	سائل	٦		لا أرضية، تربة
DTPA - FeHNa	مسحوق	١١	١١٠	لا أرضية، تربة
HEDTA - Fe	محبب	١٣	٧٠٠	لا أرضية، تربة
EDDHA - Fe Na	محبب	٦	١٣٠	تربة، لا أرضية
EDDHA - Fe Na	محبب	٧	١٠٠	تربة
مركبات الزنك				
EDTA - Zn $(NH_4)_2$	سائل	١٠		رش، تربة، لا أرضية
EDTA - Zn Na_2	مسحوق	١٥	١٠٠٠	رش، تربة
مركبات المنجنيز				
EDTA - Mn K	سائل	٦		رش، تربة، لا أرضية
EDTA - Mn Na_2	مسحوق	١٣	٨٠٠	رش، تربة
مركبات النحاس				
EDTA - Cu $(NH_4)_2$	سائل	٩		رش، لا أرضية، تربة
EDTA - Cu Na_2	مسحوق	١٥	١٢٠٠	رش، تربة

الفصل الثامن

تغذية النباتات فى الأراضى المتأثرة بالأملاح

Plant Nutrition In Salt Affected Soils

تغذية النباتات فى الأراضى المتأثرة بالأملاح

Plant Nutrition In Salt Affected Soils

١ - مقدمة Introduction :

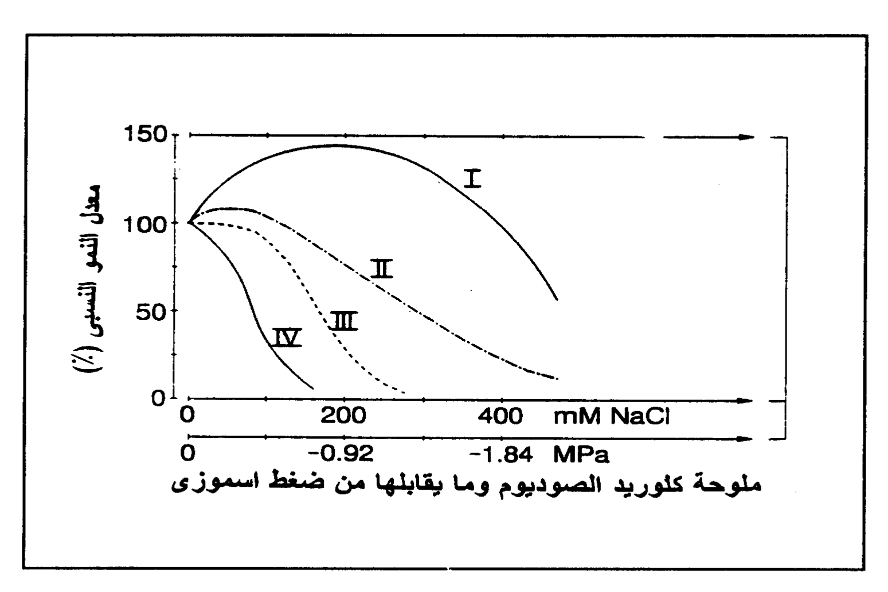
تزداد الأملاح فى الأراضى الزراعية نتيجة لتراكمها من بقايا الأسمدة غير النقية، أو استخدام مياه رى ذات أثر تمليحى، بالإضافة إلى ما قد يكون مصاحباً لمكونات التربة المعدنية، فإذا أضفنا إلى ذلك انخفاض معدلات تساقط الأمطار أو ندرتها إلى جانب ارتفاع درجة الحرارة فى مصر وكثير من دول العالم الواقعة فى المناطق الجافة وشبه الجافة لأدركنا حجم مشكلة التمليح التى تحدث فى العالم، وتزداد عملية التمليح فى الأراضى فى حالة ارتفاع مستوى الماء الأرضى بها وبصفة خاصة إذا كان ذا محتوى مرتفع من الأملاح، وتعتبر الملوحة من العوامل ذات الأهمية الكبيرة فى مجال الإنتاج الزراعى، حيث التأثير السلبى الواضح على نمو النباتات وعلى إنتاجيتها والذى يتناسب طردياً مع زيادة المستويات العالية من الملوحة، ولكى نفهم حجم وأهمية مشكلة الملوحة نذكر أن ١٠٪ من الأراضى الصالحة للزراعة فى العالم والبالغة ٧×١٠⁹ هكتار عبارة عن أراضى متأثرة بالأملاح، سواء كان ذلك أراضى ملحية أو صودية، وفى مساحة ١,٥×١٠⁹ هكتار من الأراضى المزروعة فى العالم تعتبر ٢٣٪ فيها أراضى ملحية، ٣٧٪ صودية، كما أن نصف الأراضى المروية والبالغة ٢,٥ × ١٠⁸ هكتار متأثرة بالملوحة أو ربما تصبح أراضى غدقة.

والأراضى المتأثرة بالأملاح يمكن استغلالها زراعياً باتخاذ القرارات الزراعية المناسبة، حيث يجب فهم كيفية استجابة النباتات للملوحة والمقاومة النسبية للمحاصيل المختلفة وحساسيتها عند مراحل النمو المختلفة وكيفية تأثير الأرض والظروف البيئية على زيادة الإجهاد الملحى للنباتات، فجميع الأراضى تحتوى على خليط من الأملاح الذائبة، بعضها يعتبر أساسياً لتغذية ونمو النبات، وبعضها الآخر يؤدى زيادته إلى التأثير الضار على نمو النباتات بل قد يؤدى ذلك إلى موت النباتات النامية كلية وتتحول هذه الأراضى

إلى أراضى جدباء لا حياة فيها ولا نماء، وتختلف النباتات فيما بينها فى درجة مقاومة الزيادة من الأملاح، ومن ثم يمكن وصف النباتات التى تتأثر بشدة من زيادة الأملاح بأنها نباتات حساسة للملوحة Sensitive Plants، والنباتات التى لا تتأثر إلا عند التركيزات المرتفعة بأنها نباتات مقاومة للملوحة Tolerant Plants، وبينهما توجد مجموعة من النباتات متوسطة المقاومة للملوحة Moderate plants . فإذا كان هناك نباتات محبة للملوحة تعطى أفضل نمو لها فى وجود تركيزات عالية من الأملاح مثل: نباتات بنجر السكر Sugar beet، فإن هناك أيضاً نباتات ملحية Hallophytes plants يزداد نموها بزيادة تركيز الأملاح وذلك إلى حدود معينة، والشكل التالى (٨ - ١) يوضح معدل النمو النسبى للنباتات المختلفة والمرتبط بمستويات ملوحة كلوريد الصوديوم.

ويمثل المنحنى الأول النباتات الملحية والتى تعطى نمواً مثالياً عند المستويات المرتفعة من كلوريد الصوديوم وهو ما يعنى أن عنصر الصوديوم يعتبر عنصراً مغذياً لهذه النباتات، وذلك حتى حدود معينة يتحول بعدها إلى حدود السمية مما يؤثر على معدل النمو النسبى، والمنحنى الثانى يمثل النباتات المحبة للملوحة، والمنحنى الثالث يمثل النباتات المقاومة للملوحة، والنباتات المحبة للملوحة أو المقاومة لها ينخفض معدل نموها بدرجات متباينة مع زيادة مستويات الملوحة، بينما يمثل المنحنى الرابع النباتات الحساسة للملوحة والتى تتأثر بشدة لأى زيادات فى مستوى الأملاح ويحدث انخفاض حاد للنمو فى مثل هذه البيئات.

وانخفاض معدل النمو يبدو أنه غير متخصص بنوع معين من الأملاح Specific ion effect، ولكنه مرتبط بشكل كبير بالتركيز الكلى للأملاح الذائبة أو الضغط الاسموزى لمحلول التربة Osmotic effect، ويتضح ذلك عند عمل توليفات من أملاح مختلفة ولكن لها جميعاً ضغط أسموزى متساوٍ فإنها تحدث - وفى كل الحالات - نفس التأثير، ومن جهة أخرىَ فإن نوعاً واحداً من الأملاح أو نسباً متباينة منها تتشابه فى إحداثها سمية للنباتات النامية أو خلل وعدم اتزان لعناصر التغذية.



شكل (٨ – ١): تأثير التمليح بكلوريد الصوديوم علي النمو النسبي لعدد من النباتات المختلفة في تحملها لدرجة الملوحة

وتختلف النباتات فيما بينها فى إظهار أثر زيادة الأملاح فى بيئة نموها، ففى حين نجد أن أشجار الثمار الخشبية يحدث بها تراكم لكل من الصوديوم والكلوريد فى أنسجتها النباتية إلى مستويات سامة Toxic levels تسبب احتراق الأوراق وتبرقشها ثم تساقطها Defoliation، نجد أن بعض المحاصيل العشبية مثل فول الصويا Soybean حساسة لسمية الأيون Susceptible to ion toxicity، ومع ذلك فإنها لا تظهر أى أعراض ظاهرة على أوراقها نتيجة لتراكم أيونات الصوديوم والكلوريد بها، وفى حالات أخرى نجد أن بعض الأشجار يحدث بها تراكم للأملاح فى أنسجتها الخشبية وذلك لعدة سنوات قبل ظهور أعراض السمية على أوراقها، كما أنه فى معظم المحاصيل بما فيها أشجار الثمار الخشبية يحدث فقد معنوى فى المحصول نتيجة لزيادة الضغط الأسموزى حول النباتات والأشجار، وذلك حتى قبل ظهور أى أعراض على أوراق هذه النبات والأشجار، ولقد أوضح عدد من الباحثين أن محصول الموالح يحدث له انخفاض واضح بدون تراكم حاد

لأيونات الصوديوم والكلوريد، بل وبدون ظهور أعراض سمية على أوراق الأشجار مما يعزز القول بأن التأثير الحادث هو تأثير أسموزى.

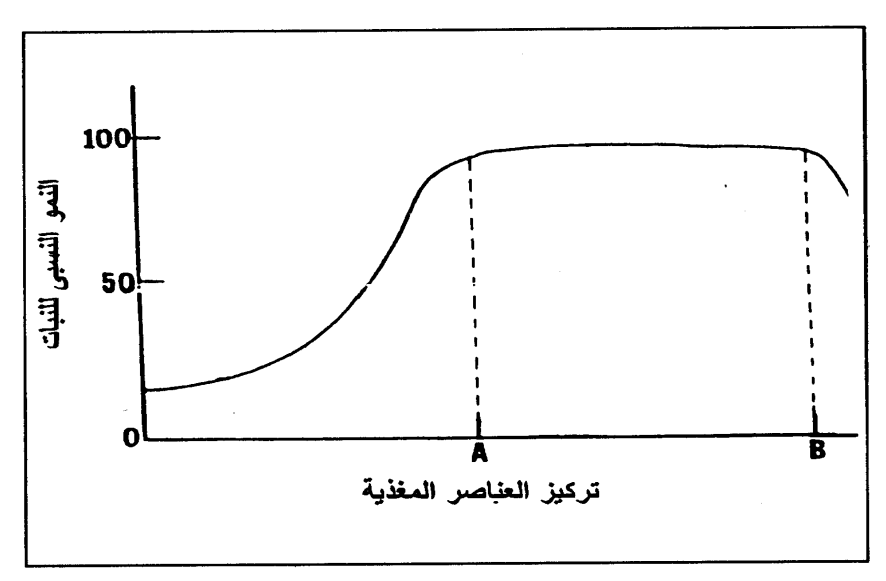
٢ - خصوبة الأراضى وتأثيرها على مقاومة النباتات للملوحة

Soil Fertility and its Effect on Salt Tolerance of Plants

فى ظل غياب الملوحة فإن نمو النباتات يكون مرتبطاً بتركيز العناصر المغذية الأساسية فى وسط النمو كما يوضحه شكل (٨ - ٢)، فمعدل النمو النسبى للنبات يكون أقل من المعدل المثالى إذا كان تركيز العناصر الغذائية الأساسية أقل من قيمة النقطة (A)، فى حين أن النمو يكون مثالياً فيما بين قيمتى النقطة (A) (B)، بينما زيادة تركيز العناصر المغذية الأساسية عن قيمة النقطة (B) قد يسبب تثبيطاً للنمو سواء كان ذلك نتيجة سمية العناصر أو لتأثير بعض العناصر على تيسر بعض العناصر الأخرى.

وتشير الدراسات إلى أن النباتات لا تظهر نفس الاستجابة السابقة فى النمو فى الأراضى الملحية، ففى بعض الحالات يكون معدل النمو المثالى (فيما بين نقطتى A، B) فى مدى أوسع أو أضيق أو قد يتحرك جهة اليمين أو جهة اليسار اعتماداً على نوع النبات، وتركيز الأملاح، ونوع العناصر، والظروف المحيطة ببيئة النمو.

ولقد لوحظ أن النباتات النامية فى الأراضى غير الخصبة تظهر فى كثير من الأحيان مقاومة أكبر للملوحة من تلك النباتات النامية فى أراضى خصبة، ويفسر هذا الوضع على أساس العامل المحدد للنمو، ففى الأراضى منخفضة الخصوبة تكون العناصر الغذائية هى العامل المحدد للنمو بمعنى أن إضافة هذه العناصر إلى هذه الأراضى يزيد من النمو والمحصول حتى فى ظل وجود أملاح، فى حين أنه فى الأراضى الخصبة فإن وجود الأملاح بها هو العامل المحدد للنمو ويتعين لزيادة الإنتاجية تخفيض نسبة الأملاح بها وليس إضافة عناصر غذائية جديدة، فإذا كانت كل من الملوحة والخصوبة عوامل محددة للنمو والإنتاج، فإن تقليل الملوحة أو زيادة معدل الخصوبة يكون مفيداً فى هذه الحالة، وفى هذا الإطار أيضاً فإن إضافة العناصر المغذية إلى الأراضى الملحية تزيد من نمو النباتات المحبة للملوحة، ويحتمل أن يكون ذلك نتيجة إلى أن الملوحة عامل متوسط التأثير على النمو بالنسبة لهذه المجموعة من النباتات.



شكل (٨ – ٢): يوضح النمو النسبي للنباتات في مجال واسع من تركيزات العناصر الغذائية

٣ – تفسير تفاعلات الملوحة مع العناصر المغذية

Interpretations of Salinity and Nutrient Interactions

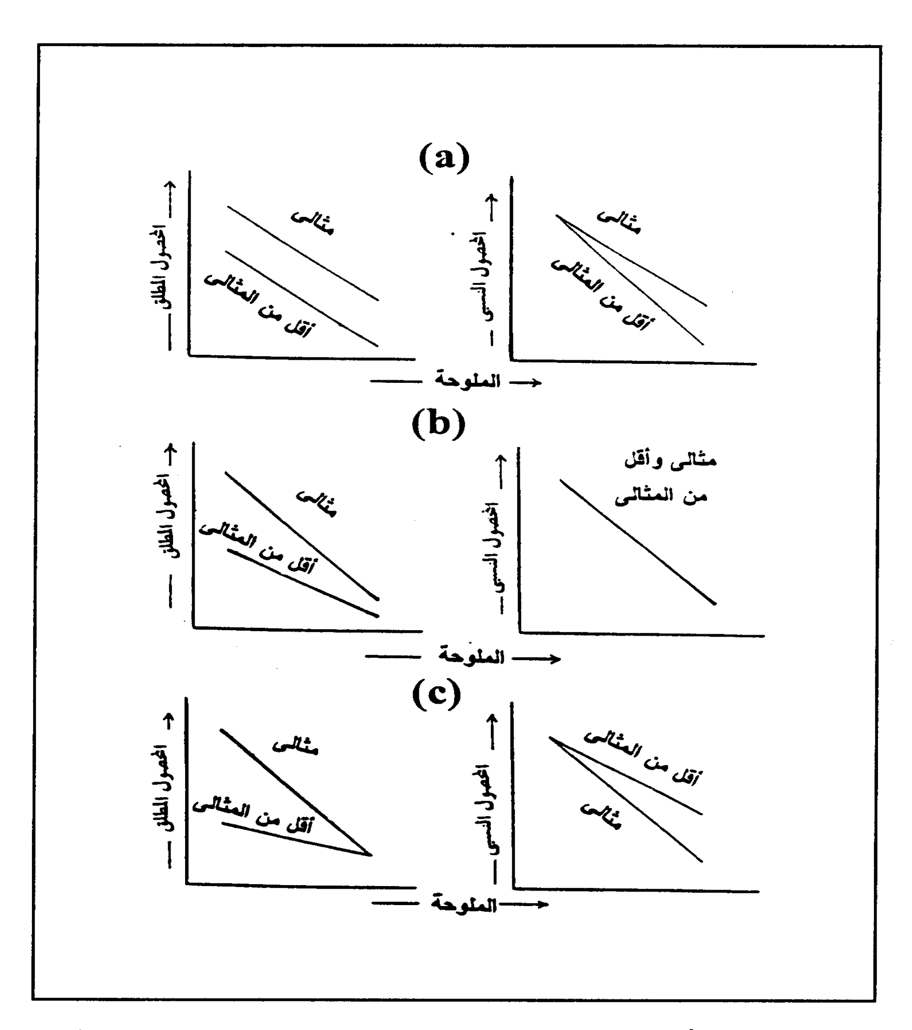
تحت ظروف الملوحة فإن الأراضى تتميز بانخفاض نشاط الأيونات المغذية وتفاوت فى نسب الأيونات إلى بعضها مثل Na^+/Ca^{2+}, Na^+/K^+, Ca^{2+}/Mg^{2+}, Cl^-/NO_3^-، مما يؤدى إلى عدم اتزان مستوى العناصر المغذية وظهور أعراض نقص لبعض العناصر المغذية والتى تؤثر على النمو، كما أن عدم الاتزان فى العناصر المغذية ربما يسبب عدم التنشيط الفسيولوجى للعناصر مما يضعف من امتصاصها، وبالتالى تظهر الحاجة إلى التسميد وإضافة العناصر المغذية على الرغم من وجودها بالفعل ولكن فى صورة غير قابلة للامتصاص.

ولقد أوضح Bernstein وآخرون سنة ١٩٧٤ ثلاث حالات من التفاعلات النموذجية بين عناصر التغذية والملوحة يمكن أن تحدث وهى : إما أن تعمل العناصر المغذية على زيادة المقاومة للملوحة أو تخفض المقاومة للملوحة أو لا تحدث أى أثر فى هذا الخصوص، بينما يعالج Mass سنة ١٩٩٠ العلاقة بين العناصر المغذية والملوحة على كفاءة نمو النباتات عند المستوى الأمثل للخصوبة وعلاقته بالكفاءة عند المستوى الأقل مثالية للخصوبة وهو ما يتضح فى شكل (٨ - ٣) .

ويمثل الشكل (a) زيادة المقاومة للملوحة بزيادة مستوى العناصر الغذائية إلى المستوى الأمثل .

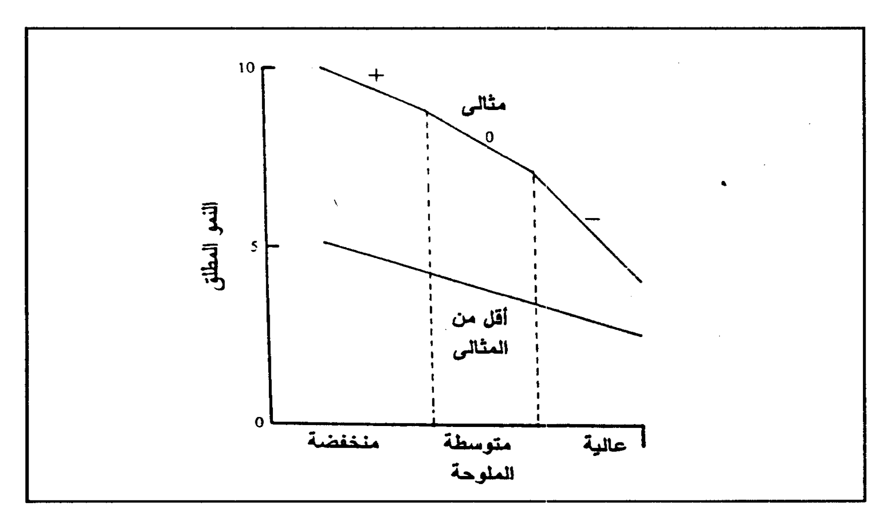
ويمثل الشكل (b) نموذج لعدم تأثر المقاومة للملوحة بزيادة مستوى العناصر الغذائية إلى المستوى الأمثل .

ويمثل الشكل (c) انخفاض المقاومة للملوحة بزيادة مستوى العناصر الغذائية إلى المستوى الأمثل .



شكل (٨ – ٣): أنواع من علاقة استجابة النباتات للنمو تحت مستويات متغيرة من الملوحة وارتباطها بزيادة مستوي العناصر الغذائية من حالة الأقل مثالية إلي الحالة المثالية للخصوبة

ويلخص شكل (٨ – ٤) العلاقة بين مستوى الخصوبة وتأثيرها على مقاومة النباتات للملوحة عند مستويات الملوحة المنخفضة والمتوسطة والعالية، ويظهر من الرسم البيانى زيادة المقاومة للملوحة بزيادة مستوى الخصوبة عند حدود الملوحة المنخفضة ويمثلها علامة (+)، بينما لا يحدث أى تأثير عند مستوى الملوحة المتوسطة ويمثلها رقم (0)، فى الوقت الذى تنخفض فيه المقاومة للملوحة عند ارتفاع مستوى الملوحة ويمثلها علامة (–).



شكل (٨ – ٤): تأثير الملوحة المنخفضة والمتوسطة والعالية عند مستويات الخصوبة المختلفة على نمو النباتات

وهناك دراسات عديدة تم إجراؤها على تفاعل العناصر الغذائية – المضافة كأسمدة إلى التربة أو المحضر منها المحلول المغذى – مع ملوحة التربة أو المحلول المغذى، ومن النتائج المتحصل عليها من تجارب الحقل وتجارب المحاليل المغذية نجد صعوبة فى التوفيق بينهما، ففى الحقل نجد أن تركيز العناصر الكبرى وخاصة الفوسفور والبوتاسيوم تتحكم فيه الصورة الصلبة للتربة، وبالتالى يصعب تقديره بدقة فى كل حالة، كما أن تركيز الملوحة

والعناصر المغذية يكون وقتياً فى مكان ما بالتربة، وفى مزارع المحاليل تكون نسب العناصر مختلفة عن الموجودة فى المحلول الأرضى، كما يكون نمو وتطور المجموع الجذرى مختلف عما هو موجود أيضاً فى التربة، ومن هنا فإن استجابة النباتات وتفاعله فى البيئة الصناعية ربما لا يعطى نفس الاستجابة والتفاعل تحت ظروف البيئة الطبيعية، ومع ذلك تظل مزارع المحاليل مفيدة جداً فى الدراسات المتقدمة لفهم مقاومة النباتات للأملاح وميكانيكية الاستجابة الفسيولوجية لامتصاص العناصر والتمييز بين أدوار العوامل المؤثرة، وسوف نتعرض بقليل من الإيجاز للعناصر المغذية الأساسية ومدى تفاعلها مع ظروف الملوحة سواء الموجودة منها فى التربة أو فى المحاليل المغذية.

أولا: العناصر المغذية الكبرى Macronutrients

١ - النيتروجين Nitrogen (N)

فى الأراضى الملحية أو غير الملحية يعتبر عنصر النيتروجين عنصراً محدداً للنمو، ولذلك فإن إضافته دائماً ما تحسن من نمو النبات وزيادة محصوله، وفى بعض التجارب الحقلية التى تم دراستها بواسطة العديد من الباحثين وجد أن إضافة النيتروجين إلى أراضى فقيرة فى محتواها من النيتروجين وبها مستوى متوسط من الملوحة أدى إلى التحسن فى نمو كل من نباتات الشعير والفول والجزر والفاصوليا والطماطم والذرة والبرسيم والبسلة والسبانخ والقمح والأرز وفى نفس هذه التجارب لم تعط النباتات استجابة لإضافة النيتروجين عندما كانت درجة الملوحة عالية، ومع ذلك فإن دراسات قليلة أوضحت وجود زيادة فى المحصول تحت مستويات الملوحة العالية عندما أضيف النيتروجين بمعدلات أعلى من المعدلات المثلى التى تستخدم فى حالة الأراضى غير الملحية، وهنا يمكن القول بأن زيادة التسميد النيتروجينى تزيد من مقاومة النباتات للملوحة وهو ما لوحظ فى حالة نباتات البرسيم والدخن ومحصول الذرة الذى عومل بـ ٣٧٥ كيلو جرام نيتروجين/هكتار، وقد يرجع التأثير الإيجابى للنيتروجين فى زيادة التحمل للملوحة إلى قيام أيون النترات NO_3^- بتقليل امتصاص وتراكم الكلوريد Cl^- (Bernstein وآخرون سنة ١٩٧٤).

وعلى الجانب الآخر فإن عدداً من الدراسات المعملية والحقلية أوضحت أن الملوحة تقلل من تراكم النيتروجين فى النبات نظراً لزيادة امتصاص وتراكم الكلوريد، وتم رصد

انخفاض تركيز النترات فى سيقان نباتات الشعير والقطن والقمح والطماطم والبطيخ، وفى هذا السياق وجد أن الكلوريد يثبط امتصاص النترات أكثر من الكبريتات وذلك عند تساويهما فى الإسموزية، ولقد أوضح أحد الباحثين أنه على الرغم من انخفاض تركيز النترات فى الأوراق إلى أن أجزاء أخرى من النبات زاد محتواها من النيتروجين فى صورة مركبات نيتروجينية مثل: البرولين والبروتينات الذائبة الكلية، إلى جانب أن الأحماض الأمنية لم ينخفض تركيزها بشكل واضح، وربما يكون هناك أهمية لصورة النيتروجين المضافة إلى التربة النامى بها نباتات تحت إجهاد ملحى، حيث وجد أن النيتروجين المضاف فى صورة أمونيوم NH_4^+ يكون أكثر حساسية للملوحة من صورة النترات NO_3^- مع نباتات الذرة والقمح والبطيخ النامى فى مزرعة محاليل، كما وجد أن إضافة الكالسيوم Ca^{2+} إلى بيئة النمو تؤدى إلى تحسين معدل النمو فى وجود النترات NO_3^-، بينما لا يحدث أى تحسن مع الأمونيوم NH_4^+، كما لوحظ أنه عندما تكون النترات NO_3^- هى المصدر الوحيد للنيتروجين فإن تراكم البوتاسيوم K^+ يزداد داخل النبات تحت الظروف الملحية فى حين أنه عندما يتواجد كل من الأمونيوم والنترات فإن البوتاسيوم يقل، أيضاً عند زيادة نسبة الأمونيوم إلى النترات NH_4^+ / NO_3^- Ratio فإن النباتات تميل إلى تراكم كل من الصوديوم والكلوريد، بينما يقل تركيز كل من الكالسيوم والبوتاسيوم فى الأوراق، ولذلك فإن أفضل مصدر للنيتروجين يمكن إضافته إلى الأراضى الملحية يكون من أملاح النترات أو خليط من النترات والأمونيوم بحيث تكون نسبة النترات أكبر من نسبة الأمونيوم.

٢ - الفوسفور Phosphorus

التفاعل بين الملوحة وبين التغذية بالفوسفور ربما يكون أكثر تعقيداً منه فى حالة التغذية بالنيتروجين، حيث إن التفاعل هنا يعتمد بشكل كبير على نوع النبات، ومرحلة النمو، ونوع الأملاح، ومستوى الملوحة بالإضافة إلى مستوى عنصر الفوسفور فى بيئة النمو، ولقد وجد Champagnol سنة ١٩٧٩ أن الفوسفور المضاف إلى الأراضى أو إلى بيئات ملحية يزيد من النمو والمحصول لعدد ٣٤ محصولاً من جملة ٣٧ محصولاً تم دراستها، بما يعنى أن هذا التأثير هو التأثير السائد فى سلوك الفوسفور فى البيئات الملحية، وتزداد مقاومة النباتات للأملاح بإضافة الفوسفور إلى البيئات المرتفعة فى

مستوى الملوحة فى حين تنخفض المقاومة للملوحة فى درجات الملوحة المتوسطة فى وجود الفوسفور، كما أن التحليلات التى تم إجراؤها على محاصيل الشعير والقمح والجزر والذرة والطماطم والذرة الرفيعة أوضحت أن زيادة الفوسفور لا تحدث تأثير مع الملوحة المنخفضة.

ويتضح من دراسات مماثلة أن الملوحة تزيد حاجة عدد كبير من النباتات إلى الفوسفور الواجب إضافته إلى بيئة النمو، ولقد وجد Awad وآخرون سنة ١٩٩٠ أن زيادة الملوحة بكلوريد الصوديوم NaCl فى بيئة النمو من ١٠ إلى ٥٠ إلى ١٠٠ ملليمول تزيد من تركيز الفوسفور فى أوراق الطماطم من ٥٨ إلى ٧٧ إلى ٩٧ ملليمول / كيلو جرام من المادة الجافة، ولكن وجد فى حالات أخرى أن زيادة الملوحة تقلل من تركيز الفوسفور فى أنسجة النبات، وفى حالة ثالثة لا يوجد أى تأثير للملوحة على تركيز الفوسفور، وهذا هو التباين الواضح فى سلوك عنصر الفوسفور والذى يعتمد – كما أسلفنا – على عوامل متعددة تحكم هذا السلوك.

ويرى Champagnol أنه فى وجود الأملاح فإن التضاد بين أيونات $H_2PO_4^-$ والكلوريد Cl^- أمر بعيد الاحتمال، بينما يرى آخرون أن الكلوريد Cl^- يوقف كلية امتصاص الفوسفات $H_2PO_4^-$، وبين هذين الرأيين يقف رأى ثالث يقول أن كلاً من أيونات الكلوريد Cl^- والكبريتات SO_4^{2-} تقلل فقط من معدل امتصاص الفوسفور نتيجة لارتفاع Ionic strength والذى يؤدى إلى انخفاض نشاط الفوسفور فى المحلول الأرضى.

وعندما تكون الملوحة فى التربة محتوية على مستويات مرتفعة من الكالسيوم، فإن الفوسفور الذائب فى المحلول الأرضى يكون محكوماً بعمليات الإدمصاص على هيدروكسيدات الحديد والألومنيوم وعلى الطور الصلب لمعادن الطين – كالسيوم – فوسفات، وهذا يجيب على تساؤل: لماذا تستجيب النباتات إيجابياً لإضافة الفوسفور تكون بطيئة نسبياً، كما أن الصور الأولية لفوسفات الكالسيوم غير ثابتة من ناحية الديناميكية الحرارية، وبتكوين صوراً ثابتة من مركبات الفوسفور فى الأراضى الجيرية – الملحية يقل تيسر الفوسفور، وبالتالى تؤدى إضافته إلى استجابة النباتات لذلك.

٣ – البوتاسيوم (K) Potassium

يعتبر عنصر البوتاسيوم شبيهاً بعنصر الفوسفور من حيث الانخفاض النسبى لتركيزه فى المحلول الأرضى، كما أن البوتاسيوم يدمص ويثبت على الأسطح وبين الوحدات البلورية للغرويات المعدنية الأرضية وخاصة من نوع ٢ : ١، ويصبح غير ميسر لدرجة أنه فى بعض الأراضى التى يسود فيها معدن الفيرميكيوليت لم يؤثر إضافة ٧٠٠ كيلو جرام من البوتاسيوم للهكتار فى إزالة أعراض نقصه من على أوراق نباتات القطن، ومع ذلك فمن حسن الحظ أن أغشية البلازما فى خلايا الجذر لها قدرة عالية على جذب البوتاسيوم أكثر من الصوديوم، وهذه الخاصية فى غاية الأهمية فى حالة نمو النباتات فى الأراضى الملحية والصودية والتى يسود فيها عنصر الصوديوم حيث يعمل على المواءمة بين ارتفاع تركيز الصوديوم وحاجة النباتات إلى البوتاسيوم والذى يحافظ بدوره على مستوى الكفاية من عنصر الكالسيوم فى الجذور وهو ما يؤدى إلى إمداد هذه الجذور بمستوى كاف من الأكسيجين، ولقد وجد Kafkafi سنة ١٩٨٤ أن الأصناف المقاومة للملوحة مثل بنجر السكر لها قدرة أعلى على جذب البوتاسيوم مقارنة بالنباتات والأصناف الحساسة للملوحة مثل نباتات الفول، وتظهر كثير من النباتات اختيارية عالية للبوتاسيوم مقارنة بالصوديوم ولقد أشار Rush and Epstein سنة ١٩٨١ إلى أن بعض أصناف الطماطم البرية تقاوم الملوحة الناتجة من ٢٠٠ ملليمول من كلوريد الصوديوم، فى حين أن نفس التركيز من البوتاسيوم يعتبر ساماً لها، بينما بعض الأصناف الحساسة للملوحة أظهرت سلوكاً مغايراً حيث تستطيع مقاومة هذا التركيز من البوتاسيوم، فى حين أن نفس التركيز من الصوديوم يعتبر مميتاً لها.

وهناك أدلة على أن الصوديوم يحل جزيئاً محل البوتاسيوم فى عديد من النباتات دون أن يؤثر ذلك على النمو، **ولقد أوضح Marschner سنة ١٩٩٥ أن النباتات تنقسم إلى ٤ مجموعات من حيث إحلال وتبادل الصوديوم للبوتاسيوم:**

المجموعة الأولى: وفيها يحل جزء كبير من الصوديوم محل البوتاسيوم مثل: نباتات البنجر Beet واللفت Turnip.

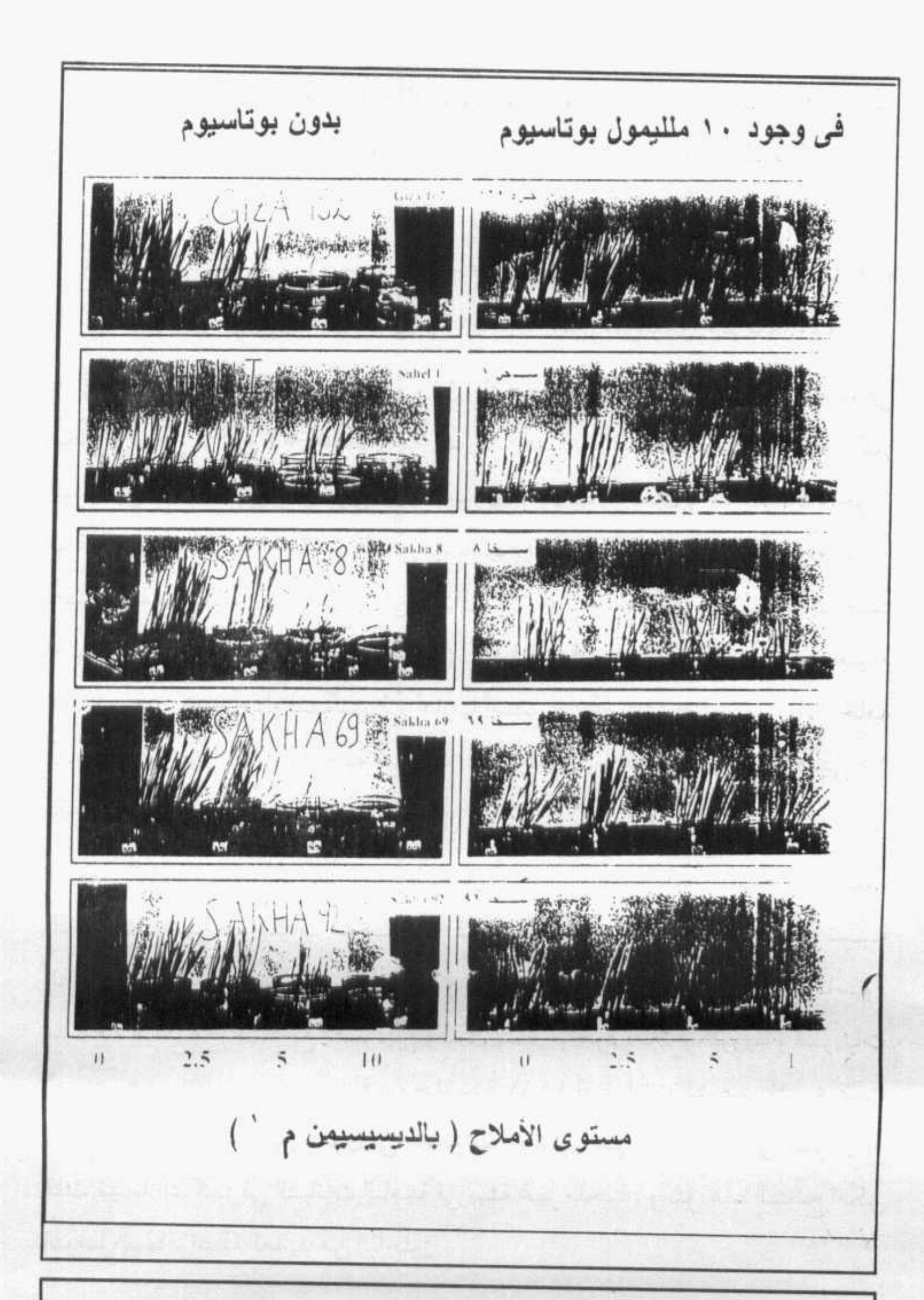
المجموعة الثانية: ويكون الإحلال للبوتاسيوم فهيا متوسطاً ويمثلها مجموعة النباتات متوسطة المقاومة للملوحة مثل الطماطم Tomato.

المجموعة الثالثة: يكون فيها الإحلال للبوتاسيوم قليلاً بواسطة الصوديوم والذى يعتبر غير مؤثر أو فعال فى النمو، وذلك كما فى حالة نباتات الأرز Rice.

المجموعة الرابعة: وفيها لا يحدث أى إحلال للبوتاسيوم بواسطة الصوديوم ويمثل هذه المجموعة نباتات الذرة Maize، الفول Bean، والخس Lettuce.

ولقد وجد Chow وآخرون سنة ١٩٩٠ أن محصول نباتات السبانخ النامية فى محلول ملحى تركيزه ٥٠ ملليمول من كلوريد الصوديوم قد تضاعف عندما رفع تركيز البوتاسيوم المضاف من ٠,٠١ إلى ١٠ ملليمول، وفى هذا السياق وجد Sherif وآخرون سنة ١٩٩٨ أن إضافة ١٠ ملليمول من البوتاسيوم أدى إلى تحسين نسبة الإنبات لعدد من أصناف القمح المصرى تم تنميتها فى أطباق بترى تحت مستويات من الملوحة من صفر حتى ١٠ ديسيسيمن/م (شكل ٨ – ٥)، كما أدى أيضاً إضافة كبريتات البوتاسيوم بمعدل ١٥٠ كيلو جرام للهكتار فى تجارب أصص إلى تحسين النمو ووزن المادة الجافة تحت مستويات من ملوحة كلوريد الصوديوم تراوحت من صفر حتى ١٥ ديسيسيمن/م.

ومن ناحية أخرى فإن كثيراً من الباحثين وجد أن تركيز البوتاسيوم فى أنسجة النباتات النامية فى بيئات ملحية ينخفض بزيادة تركيز الصوديوم أو زيادة نسبة الصوديوم إلى الكالسيوم فى بيئة نمو الجذور، وهذا الانخفاض فى امتصاص البوتاسيوم مرجعه عملية التضاد مع الصوديوم والذى يتأثر بوجود أملاح كلوريد وكبريتات الصوديوم فى المحلول الأرضى، ولقد وجد سنة ١٩٨٧ أن نباتات الشعير التى عرضت لملوحة كبريتات الصوديوم تحتوى فى مجموعها الخضرى على تركيز من البوتاسيوم يبلغ ثلث قيمة التركيز فى النباتات النامية فى بيئة غير ملحية، ومثل هذه النتائج أمكن التوصل إليها بواسطة العديد من الباحثين.



شكل (٨ – ٥): تأثير إضافة البوتاسيوم علي تحسين نسبة الإنبات لبعض أصناف القمح المصري تحت مستويات عالية من الملوحة (انظر الصفحة التالية لـ ٤٨٤ بالألوان).

٤ - الكالسيوم Calcium

يلعب الكالسيوم دوراً هاماً وحيوياً فى فسيولوجيا وبناء النبات، ولكن نظراً لزيادة عنصر الكالسيوم فى الأراضى الزراعية فإن ذلك يجعله عنصراً غير محدداً للنمو فى مثل هذه الأراضى، ومع ذلك فإن زيادة الملوحة فى الأراضى تزيد الحاجة إلى إضافة الكالسيوم، حيث تنخفض الكميات الممتصة منه بواسطة النباتات والذى قد يعزى إلى تفاعل بعض الأيونات مع الكالسيوم فيرسب فى صورة غير صالحة للامتصاص، أو نتيجة لزيادة القوة الأيونية فى المحلول الأرضى والتى تقلل من نشاط أيون الكالسيوم.

وبالرغم من أن الملوحة الناتجة من كلوريد الصوديوم تخفض من تركيز الكالسيوم فى النبات، إلا أن هذا الانخفاض لا يرجع إلى انخفاض تدفق الكالسيوم من الجذر إلى الساق، ولكن وكما تشير الدراسات فإن ذلك مرجعه إلى أن الصوديوم يقلل الحركة القطرية Radial movement للكالسيوم من المحلول الأرضى إلى أوعية خشب الجذر، ولقد وجد كثير من الباحثين أن اختيارية النباتات لامتصاص الكالسيوم أكبر منها للصوديوم، ومع ذلك فإن نقص الكالسيوم فى المحلول الأرضى يؤثر على تركيب خلايا الجذور ويؤدى إلى زيادة نفاذيتها مما يفقدها خاصية اختيارية امتصاص البوتاسيوم إلى الصوديوم K^+/Na^+ selectivity ويزداد تبعاً لذلك امتصاص أيونات الصوديوم والكلوريد على حساب البوتاسيوم والكالسيوم، ومع ذلك فإن إضافة ١٠ ملليمول من الكالسيوم إلى المزرعة الملحية يحمى الخلايا النباتية ويحافظ على بنائها وخصائصها، ويمكن تجنب الأضرار الناشئة عن زيادة الصوديوم وانخفاض الكالسيوم، وذلك بالمحافظة على ألا تزيد النسبة بين الصوديوم والكالسيوم عن ١٥.

ويجب المحافظة على إضافة كميات كافية من الكالسيوم إلى التربة فى حالة وجود ملوحة مرتفعة بها وخاصة مع المحاصيل غير الحولية والتى تتأثر بوجود تركيزات عالية من الصوديوم والكلوريد، ولقد لوحظ أن إضافة الكالسيوم إلى أشجار الموالح المنزرعة فى أراضى ملحية أدى إلى تقليل الكميات الممتصة من الصوديوم والكوريد، الأمر الذى أدى إلى حماية المجموع الخضرى لهذه الأشجار من أضرار الملوحة.

٥ - الماغنسيوم Magnesium

يتنافس الكالسيوم بشدة مع الماغنسيوم وتظهر مواضع الارتباط على أغشية بلازما جذور النباتات انخفاضاً ملحوظاً للارتباط بالماغنسيوم مقارنة بالكالسيوم، ومن ثم فإن وجود كميات كبيرة من الكالسيوم فى المحلول الأرضى يؤدى إلى زيادة الممتص منه على حساب الماغنسيوم فيقل تركيزه فى الجذور والسيقان والأوراق وتظهر معه أعراض نقصه على النبات، ومع ذلك فإن زيادة نسبة الماغنسيوم إلى الكالسيوم عن ١ يقلل من نمو نباتات الذرة Maize وفول الصويا Soybean . وفى حالة النباتات التى تنمو على مياه البحار بحالتها كما فى حالة النباتات الملحية، أو بنسب تخفيف معينة تتناسب مع نوعية النباتات المحبة للملوحة، فإن الاضطراب الغذائى يمكن أن يحدث نتيجة لزيادة نسبة الماغنسيوم إلى الكالسيوم، حيث إن معظم مياه البحار يكون نسبة الماغنسيوم إلى الكالسيوم بها حوالى ٥ : ١ على أساس التركيز بالمولر، كما تشير الدراسات الحديثة إلى أن أملاح الماغنسيوم تعمل على خفض نمو جذور نباتات الأوكاليبتوس أكثر من أملاح الصوديوم، ومن ثم فإن إضافة الماغنسيوم عند ظهور أعراضه على النباتات النامية فى أراضى ملحية يجب أن يكون محسوباً ومتناسباً مع عنصر الكالسيوم بشكل خاص.

ثانياً : العناصر الصغرى Micronutrients

توجد العناصر الصغرى فى المحلول الأرضى - باستثناء الكلوريد - بكميات قليلة تؤثر فيها الخواص الطبيعية والكيميائية للتربة، وفى حالة الأراضى الملحية والقلوية فإن ذوبان العناصر الصغرى مثل النحاس Cu والحديد Fe والمنجنيز Mn والزنك Zn يكون منخفضاً وتظهر على النباتات النامية فى مثل هذه الأراضى أعراض نقصها، إلا أن تركيز هذه العناصر الصغرى فى المجموع الخضرى ربما يزداد أو ينقص أو ربما لا يتأثر اعتماداً على نوع النبات، ونسبة الأملاح، وتركيز العناصر الصغرى فى التربة، وبالإضافة إلى الظروف البيئية، ولقد وجد زيادة فى تركيز الزنك فى نباتات الشعير وفول الصويا والطماطم والكوسة التى تنمو فى بيئات ملحية، فى حين أن تركيز الزنك انخفض فى نباتات الذرة، كما تؤدى الملوحة إلى زيادة تركيز المنجنيز فى المجموع الخضرى لنباتات الشعير والأرز وبنجر السكر والطماطم فى حين ينخفض تركيزه فى الذرة والبسلة والكوسة.

كما يلعب نوع الملح المسبب للملوحة دوراً آخر، فعندما يكون المحلول الأرضى أو الملحى غنياً بالأملاح ذات الكاتيونات الثنائية فإن تركيز المنجنيز يزداد، فى حين أن سيادة الأملاح ذات الكاتيونات الأحادية يؤدى إلى انخفاض تركيز المنجنيز.

وبالنسبة للحديد تعمل الملوحة على زيادة تركيزه فى المجموع الخضرى لنباتات البسلة والطماطم وفول الصويا والكوسة والأرز، بينما ينخفض التركيز فى نباتات الشعير والذرة، ومع هذه الاختلافات فإن الأملاح وخاصة أملاح كلوريد الصوديوم تؤدى إلى ظهور أعراض نقص الحديد على النباتات.

ومن العرض السابق يبرز دور الصوديوم فى الأراضى الملحية وتأثيره السالب على امتصاص البوتاسيوم والكالسيوم، كما يظهر تأثير الكالسيوم على الماغنسيوم، كما تؤثر الملوحة على تغذية النباتات بالعناصر المغذية المختلفة، إما بالتأثير على حركة العنصر الغذائى داخل النبات (مثل تأثير الصوديوم على الكالسيوم)، أو بزيادة الحاجة للعنصر المغذى داخل الخلية.

٤ - أقلمة النباتات للتغلب على تأثير الملوحة

Adaptation To Overcome Salinity Effect

سبق الإشارة إلى التأثير السلبى للملوحة على نمو النباتات مهما كانت درجة تحملها للملوحة، وحيث إن المشكلة تزداد عند زراعة النباتات الحساسة ومتوسطة المقاومة للملوحة فى البيئات الملحية، وهذه النباتات تضم قائمة طويلة من المحاصيل الاستراتيجية والتى يتحتم زراعتها فى المناطق والأراضى المتأثرة بالأملاح، فإن محاولة التغلب - ولو جزئياً - على هذه المشكلة يكون أمراً ضرورياً، وللدخول فى هذا المضمار فإنه يجب أولاً الوقوف على ملامح التأثيرات والمعوقات التى تحدثها الأملاح فى النباتات النامية فى البيئات الملحية ثم بعد ذلك يتم العمل على تخفيف حدة هذه التأثيرات والمعوقات بما هو متاح من معلومات فى فسيولوجيا وتغذية النبات، ولقد أشار Ma-rschner سنة ١٩٩٥ إلى أن النباتات النامية فى البيئات الملحية تعانى من ثلاثة معوقات أساسية:

١ – نقص المياه فى الأنسجة النباتية Water deficit أو ما يعرف بالجفاف Dought stress.

٢ – السمية بالأيونات Ion toxicity المرتبطة بالامتصاص الزائد لأيونات الصوديوم Na^+ والكلوريد Cl^-.

٣ – عدم الاتزان الغذائى Nutrient imbalance نتيجة لنقص الامتصاص أو الانتقال أو الانتشار والتوزيع للعناصر الغذائية داخل النبات، وبدون الدخول فى تفصيلات كثيرة فإن النباتات تنقسم إلى قسمين كبيرين على أساس تعاملها مع الأملاح:

القسم الأول: يعرف بالنباتات التى تطرد الأملاح Excluder plants، وهذه المجموعة من النباتات يظهر تأثير الأملاح عليها فى انخفاض محتوى الأنسجة النباتية من المياه وهذا الانخفاض يؤثر على تمدد الخلايا، ويقلل من تثبيت ثانى أكسيد الكربون، ويقلل أيضاً من تخليق البروتينات، ونباتات هذه المجموعة تقوم بمحاولة تقليل أثر وجود الأملاح بالأقلمة الذاتية وذلك بتقليل مساحة السطح الخارجى للنبات وتحسين وزيادة تخليق السكريات داخل الأنسجة والخلايا النباتية.

القسم الثانى: ويعرف بالنباتات التى تجمع الأملاح الممتصة فى خلاياها Includer plants، وهذه المجموعة من النباتات يظهر عليها أثر الأملاح الزائد فى صورة سمية بالأيونات Ion toxicity وخاصة أيونات الصوديوم Na^+ والكلوريد Cl^- عند زيادتها لحدود معينة، أو ظهور أعراض نقص بعض العناصر الأخرى مثل: البوتاسيوم والكالسيوم نتيجة لعدم الاتزان الغذائى Nutrient imbalance والذى يحدث نتيجة لنقص الامتصاص أو بطء الانتقال أو ضعف الانتشار والتوزيع للعناصر الغذائية داخل النبات مما يظهر معه أعراض النقص، ونباتات هذه المجموعة تعمل على:

١ – أن تصبح الأنسجة مقاومة للملوحة Tissue tolerance وذلك بتجزئة الأملاح Salt compartmentation، وتخليق مكونات عضوية ذائبة متوافقة مع الأملاح الموجودة، وإحلال البوتاسيوم محل الصوديوم K^+/Na^+ replacement.

٢ - تجنب التركيزات المرتفعة من الأيونات المسببة للسمية وذلك بالعمل على إعادة انتقال هذه الأيونات عبر اللحاء Retranslocation in phloem، وزيادة محتوى الخلايا من المياه، وإفراز الأملاح Salt excretion من خلال نهايات الأوراق أو من نتوءات على الساق، بل وقد تتساقط الأوراق Leaf drop كلية لتقليل التركيزات المرتفعة من الأملاح داخل النبات، وكل هذه العمليات تساعد على إحداث نوع من الأقلمة يزيد من مقاومة النباتات لتأثيرات الملوحة العالية فى بيئة النمو.

وهذه الطرق والوسائل التى يتم بها إحداث عمليات الأقلمة فى النباتات يمكن محاكاتها ومساعدة النباتات على القيام بدورها فى التغلب على التأثيرات الضارة للملوحة، وفى هذا الإطار فإن تعويد شتلات النباتات على النمو فى بيئات ملحية فى مراحلها الأولى من النمو لفترات محددة قبل نقلها إلى الزراعة فى الأرض المستديمة ذات الملوحة العالية قد يحدث نوعاً من الأقلمة لهذه النباتات، وفى تجارب تحت ظروف الصوبة قام بها Sherif سنة ١٩٩٧ باستخدام تقنية مزارع المحاليل المغذية فى أقلمة بادرات الطماطم «صنف مارماند سوبر» فى أربع مستويات من محاليل كلوريد الصوديوم (صفر، ٥٠، ١٠٠، ١٥٠ مول/م٣) لمدة ١٠، ٢٠ يوماً، وذلك لدراسة إمكانية التغلب على مشكلة زراعة هذه النباتات تحت مستويات عالية من الملوحة فى المزارع الرملية (صفر، ٧,٥، ١٥، ٢٢,٥، ٣٠ ديسيسيمن/م كلوريد صوديوم) ومزارع المحاليل المغذية «الهيدروبنكس» (صفر، ٣٠٠، ٤٠٠ مول/م٣ كلوريد صوديوم)، كما تم استخدام ٥٠ مول/م٣ من كبريتات البوتاسيوم بمفردها أو مع التركيزات السابقة من كلوريد الصوديوم لمدة ١٠، ٢٠ يوماً أيضاً، وذلك لدراسة تأثير البوتاسيوم على أقلمة نباتات الطماطم، وهل يضيف ذلك مزيداً من الكفاءة لعمليات الأقلمة بمحاليل كلوريد الصوديوم كنتيجة لزيادة محتوى الشتلات من البوتاسيوم والذى يقلل بدوره من امتصاص الصوديوم أو يحدث إحلال للصوديوم بواسطة البوتاسيوم K^+/Na^+ replace-ment، وكان لهذه المعاملات تأثير واضح على مقاومة النباتات للأملاح، حيث وجد أن عملية الأقلمة تعمل على تحمل بادرات الطماطم للنمو تحت مستويات عالية من الأملاح ويزداد هذا التحمل بزيادة تركيز محلول الأقلمة حتى ١٥٠ مول/م٣ كلوريد صوديوم، فى حين أدت الأقلمة بـ٥٠ مول/م٣ من محلول كبريتات البوتاسيوم تأثيراً

متساوياً لمحلول كلوريد الصوديوم تركيزه ١٥٠ مول/م٣، بينما لم تؤد التوليفات المختلفة بين ٥٠ مول/م٣ من محلول كبريتات البوتاسيوم ومستويات كلوريد الصوديوم إلى نتائج أفضل، وإن كانت النتائج تشير إلى أن الأقلمة بمحلول ٥٠ مول/م٣ كبريتات البوتاسيوم + ٥٠ مول/م٣ من محلول كلوريد الصوديوم يتساوى فى تأثيره مع الأقلمة بمحلول ١٠٠ مول/م٣ كلوريد صوديوم بمفرده، كما كان لفترة الأقلمة أهمية كبيرة، حيث أدت فترة ٢٠ يوماً إلى نتائج أفضل مقارنة بفترة ١٠ أيام.

وعند مقارنة زراعة النباتات المأقلمة فى المزارع الرملية ومزارع المحاليل وجد أن الزراعة فى مزارع المحاليل المغذية أكثر فعالية تحت مستوى أملاح ٣٠٠ مول/م٣ كلوريد صوديوم مقارنة بالزراعة فى المزارع الرملية تحت نفس المستوى من الأملاح ٣٠ ديسيسيمن/م كلوريد صوديوم، كما أن نجاح الزراعة فى مزارع المحاليل المغذية تحت هذه المستويات العالية من الملوحة يكون مفيداً فى المناطق التى تعتمد فى رى أراضيها على مياه آبار ذات ملوحة عالية.

كما تعتبر مثل هذه النتائج إيجابية فيما يخص الأقلمة بمحلول كبريتات البوتاسيوم، وتفيد من الناحية التطبيقية فى أقلمة الشتلات – المراد زراعتها فى أراضى ملحية أو متأثرة بالأملاح – فى أرض المشتل مباشرة باستخدام سماد كبريتات البوتاسيوم – فى حالة عدم تيسر استخدام المحاليل الملحية فى الأقلمة، حيث إن فكرة الأقلمة فى المحاليل – فضلاً عن كفاءتها – إلا أنه يتم استخدامها لتجنب إحداث تمليح بأرض المشتل عند الأقلمة بكلوريد الصوديوم، وإن كان هذا الأمر يتطلب إجراء دراسات على معدلات التسميد الإضافية من كبريتات البوتاسيوم الواجب إضافتها إلى أرض المشتل، وكذلك عمر المشتل إلى الدرجة التى تحقق الكفاءة المطلوبة لعملية الأقلمة وتغلبها على مستويات الملوحة العالية فى التربة.

الفصل التاسع

تغذية النباتات فى الزراعات اللا أرضية

Plant Nutrition in Soilless Agriculture

المحلول المغذى

Nutrient Solution

تغذية النباتات فى الزراعات اللا أرضية

Plant Nutrition in Soilless Agriculture

مقـــدمـــة :

الهيدروبنكس Hydroponics أو نمو النباتات فى المحاليل المغذية بدأ فى التطور منذ التجارب الأوليه التى أجريت لمعرفة تركيب النبات والمواد التى تسبب نموه بواسطة العالم البلجيكى Jan Van Helmont سنة ١٦٠٠، إلا أن نمو النباتات بهذه الطريقة كان قبل ذلك بكثير، حيث تعتبر حدائق بابل المعلقة وحدائق المكسيك والصين العائمة أمثلة للهيدروبنكس، بل إن الأكثر من ذلك هو ما سجلته اللغة الهيروغليفية المصرية القديمة من تنمية النباتات فى الماء قبل عدة مئات من السنين قبل الميلاد.

وســار على درب Van Helmont كثير من الباحثين والعلماء، ومع تطور علوم الكيمياء أمكن التوصل إلى مكونات النبات والمواد التى يحتاجها للنمو والتى عرفت بالعناصر المغذية، واستطاع العالم الألمانى Sachs سنة ١٨٦٠ وزميله Knop سنة ١٨٦١ زراعة النباتات وتنميتها فى محلول مائى Water solution به العناصر المغذية التى تحتاجها بدون الاستعانة بأى بيئة نمو، وعرف هذا النظام بمزارع المغذيات "Nutriculture" وهو النظام الذى ما زال يستخدم فى معامل فسيولوجيا وتغذية النبات حتى الآن ويعرف باسم Hydroponics. وأول من أطلق مصطلح الـHydroponics على مزارع المحاليل المغذية العالم Gericke بجامعة كاليفورنيا سنة ١٩٢٩. ففى الفترة من سنة ١٩٢٥ إلى سنة ١٩٣٥ نشطت البحوث بهدف تطوير وتحوير تقنية مزارع المغذيات Nutriculture للاستخدام التطبيقى خارج إطار المعمل والبحوث الأكاديمية لاستغلال الأراضى الواقعة تحت الصوب الزراعية بعد ظهور كثير من المشاكل فى بنائها وخصوبتها بالإضافة إلى الإصابة بالأمراض الفطرية والحشرية، وكانت تجارب Gericke الرائدة فى هذا المجال، حيث قام بزراعة عدة محاصيل درنية مثل: الجزر واللفت والبنجر والبطاطس، بالإضافة إلى محاصيل الحبوب والزهور والخضر فى تنكات وأوعية كبيرة بها المحاليل المغذية، واستخدمت هذه الطريقة منذ سنة ١٩٤٠ فى الباسيفيك لزراعة الأراضى غير

الصالحة للزراعة.

والهيدروبنكس Hydroponics كلمة يونانية تتكون من مقطعين الأول Hydro بمعنى الماء، والثانى Ponics بمعنى العمل ليصبح المعنى «عمل الماء» أو «المزارع المائية»- وذلك للتفرقة بين هذه الوسيلة وبين الزراعة باستخدام التربة والتى يطلق عليها باليونانية Geoponics -إلا أن الماء H_2O لا يستطيع بمفرده أن يمد النباتات النامية فيه إلا بعنصرى الأيدروجين والأكسجين، وبالتالى يحتاج إلى إضافة باقى العناصر المغذية للنبات Essential elements فيتحول الماء إلى محلول للتغذية، ولذلك فإنه من الأصوب التعبير عن الهيدروبنكس بأنها «مزارع المحاليل المغذية أو مزارع المحاليل» بدلاً من القول بأنها «مزارع مائية».

ثم أخذت الزراعة اللاأرضية بعداً آخر من الناحية التطبيقية أثناء وبعد الحرب العالمية الثانية منذ سنة ١٩٤٥، حيث قام الجيش الأمريكى فى اليابان بعمل مزرعة لا أرضية (وكانت بيئة النمو هى الحصى Gravel) وذلك على مساحة ٢٢ هكتاراً (حوالى ٥٥ فداناً) فى إحدى ضواحى مدينة طوكيو لإمداد جنود قواته بالخضراوات النقية والطازجة. وفى سنة ١٩٥٠ بدأ انتشار طرق الزراعة اللاأرضية فى عدد من دول العالم مثل: إيطاليا وإسبانيا وفرنسا وإنجلترا وألمانيا والسويد والاتحاد السوفيتى السابق وفلسطين المحتلة فى مساحات محدودة. وبتطور صناعة البلاستيك- والمضخات المائية وساعات ضبط الوقت وغيرها من الأدوات المستخدمة فى مثل هذه الأنظمة- أخذت الزراعة اللاأرضية خطوة واسعة إلى الأمام، حيث تحولت من نظام للزراعة إلى تكنولوجيا زراعية تستخدم فيها الميكنة الخاصة بها والحاسبات الآلية مما يقلل من مصاريف الإنشاء والتشغيل فى آن واحد مقارنة بما تحققه من إنتاج كبير، وبدأت دول كثيرة تطبق أنظمة الزراعة اللاأرضية مثل: هولندا- استراليا- بولندا- جزر الباهاما- جنوب أفريقيا- البرازيل- شيلى- سنغافورة- ماليزيا- إيران- أبوظبى- الكويت.

وأنواع المزارع اللاأرضية أصبحت من الكثرة بحيث أصبح عدد طرق الزراعة بها يساوى تقريبا عدد البيئات المستخدمة فيها، ومثل ذلك المزارع الرميلة- مزاره الحصى- مزارع الفيرمكيوليت- مزارع البرليت- مزارع الصوف الصخرى- مزارع نشارة الخشب- مزارع صوف الخبث- مزارع البازلت ومزارع الحجر الخفاف، ومزارع بالات القش، ومزارع

المحاليل المغذية . . . . . إلخ . كما ظهرت مسميات أخرى على أساس طريقة التغذية مثل طريقة الأغشية المغذية Nutrient Film Technique (NFT) وطريقة المحاليل الساكنة Static Solution Culture ومنها المحاليل العميقة Deep Solution أو السطحية Shallow Solution والتغذية بالرذاذ Mist والتغذية تحت السطحية Sub Nutrition- والتغذية بالجذور المنشقة Split-Root Nutrition . . . . إلخ .

وبصفة عامة فإنه يمكن القول بأن مزارع المحاليل المغذية أو الـHydroponics هى حجر الأساس الذى ارتكزت عليه الزراعات اللاأرضية وتعرف على أنها تكنولوجيا إنماء النباتات فى المحاليل المغذية مع استخدام أو عدم استخدام بيئة خاملة كعامل تثبيت ميكانيكى (مثل : الرمل- الحصى- نشارة الخشب- الصوف الصخرى . . . . إلخ) وغالباً ما يكون المحلول فى حالة دوران Circulating فى نظام مغلق Closed system (حيث يعاد استخدام المحلول أكثر من مرة) أو غير متحرك Static or non-circulating فى نظام مفتوح Open system (أى يستخدم المحلول مرة واحدة) . وبالتوسع فى هذا المجال ظهر اصطلاح Soilless culture وتعنى الزراعة بدون تربة أو أرض أو « الزراعة اللاأرضية » وكلها تعنى إنماء النباتات فى بيئات خاملة صلبة (من غير التربة الطبيعية) مع التغذية بالمحاليل المغذية ومع الفرق الواضح بين الـ Hydroponics, Soilless culture إلا أنهما يعنيان الزراعة بعيداً عن التربة أو الأرض الطبيعية أياً كانت طريقة أو وسيلة النمو مما يجعل مصطلح الزراعة اللاأرضية ومرادفاتها مصطلحاً جامعاً لكل طرق الزراعة التى لا تتخذ من الأرض بيئة ومهداً لنمو النباتات، وبالتالى تكون عملية التغذية بالعناصر الغذائية الأساسية وبالكميات المحسوبة والمتوازنة أهم الأسس التى تعتمد عليها هذه الطرق من طرق الزراعة الحديثة .

ومن خلال التطبيق العملى للمزارع اللاأرضية فى كثير من دول العالم، وجد أنها تحقق عدة مزايا وأهداف من الأهمية بمكان أن توضع فى الاعتبار عند صانعى قرار السياسات الزراعية على مستوى الأفراد والمجتمعات والدول حيث إنها :

١ - لا تحتاج إلى أرض زراعية خصبة وبالتالى توجد حيث لا يمكن أن توجد زراعة .

٢ - كفاءة عالية فى استخدام مياه الرى حيث لا يوجد فقد لها إلا الفقد عن طريق النتح

مما يوفر من ٢٠ – ٥٠٪ من المياه المستخدمة فى حالة الزراعة فى التربة، بالإضافة إلى ذلك فإن نوعية المياه ذات الخطر التمليحى والتى تسبب مشاكل عند استخدامها فى التربة يمكن استخدامها فى الزراعة اللاأرضية.

٣ – كفاءة عالية فى استخدام الأسمدة حيث لا يوجد فقد ولا تثبيت.

٤ – لا تحتاج إلى العمليات الزراعية التقليدية (حرث– عزيق– تنقية حشائش...... إلخ) مما يوفر كثير من العمالة.

٥ – المحاليل المغذية وبيئات النمو من السهل تعقيمها، وبالتالى التغلب على مشكلة إصابة جذور النباتات بالأمراض.

٦ – تجانس المحلول المغذى وفى الوقت نفسه من السهل ضبط تركيز العناصر به مما يؤدى إلى أفضل نمو.

٧ – التكثيف الزراعى وزيادة عدد النباتات فى وحدة المساحة مما يؤدى إلى زيادة المحصول.

٨ – تحت نفس الظروف البيئية فإن المزارع اللاأرضية تعطى زيادة فى المحصول من ٤–١٠ مرات عن مثيلتها فى الأراضى تحت الصوب الزراعية.

٩ – فى ظروف الإضاءة الجيدة فإن ثمار المحاصيل تنضج أسرع فى المزارع اللاأرضية، كما أن خواص الجودة للثمار يكون أفضل.

١٠ – نتيجة لارتفاع المحصول وجودته فإن العائد الاقتصادى يكون مرتفعاً.

وإجمالاً فإن الزراعة اللاأرضية تتميز عن الزراعة التقليدية فى الأراضى الطبيعية بارتفاع كفاءة التغذية للنباتات، مع الكفاءة العالية فى استخدام الأسمدة والتسميد وزيادة كثافة النباتات. كل هذه المزايا تقود فى النهاية إلى زيادة الإنتاج فى المزارع اللاأرضية مقارنة بالزراعة التقليدية فى الأراضى الزراعية (جدول ٩–١).

جدول (٩-١): يوضح إنتاج بعض المحاصيل (طن/أيكر*) في الزراعة التقليدية في الأراضي مقارنة بالزراعة اللاأرضية

المحصول	الزراعة التقليدية فى الأراضى (طن / إيكر)	الزراعة فى المزارع اللاأرضية (طن / إيكر)
الفول	٥	٢١
البسلة	١	٩
البنجر	٤	١٢
البطاطس	٨	٧٠
الكرنب	٩ر٥	٢ر٨
الخس	١ر٤	٥ر٩
الطماطم	٥-١٠	٦٠-٣٠٠
الخيار	٢ر٣	١٢-١١٢

* الإيكر (٤٠٤٧ متر مربع) = ٠,٩٦ من الفدان (حيث إن الفدان = ٤٢٠٠ متر مربع).

وهذه كلها مزايا، إلا أن الأمر لا يخلو من عيوب، وهذه العيوب قليلة وتلافيها ممكن حيث إنها تتمثل فى:

١ - ارتفاع التكاليف الأولية لإنشاء مزرعة لا أرضية. وهذا الأمر لم يعد مشكلة فى ظل توافر معظم تجهيزات المزارع اللاأرضية والتى تستخدم على نطاق واسع فى أنظمة الزراعة التقليدية خاصة تحت الصوب الزراعية (ومن هذه التجهيزات أنظمة الرى بالتنقيط- أجهزة خلط الأسمدة مع مياه الرى- المضخات المائية- ساعات التوقيت- شرائح البلاستيك..... إلخ). كما أن الحصول على كثير من الأحواض والقنوات المناسبة للاستخدام فى المزارع اللاأرضية أصبح ميسوراً فى ظل وجود منتجات البلاستيك المتوفرة فى الأسواق.

٢ - تحتاج بعض الأنظمة من نوع الـClosed system solution و Re-circulating إلى

مصدر دائم للكهرباء. ويمكن عمل بعض التحويرات فى هذه الأنظمة بما يوفر من الطاقة المستخدمة كما يمكن استخدام المضخات التى تعمل بالديزل بدلاً من التى تعمل بالكهرباء أو استخدامها معاً كما أنه يمكن استخدام طاقة الرياح والطاقة الشمسية فى هذا المجال.

٣ – هناك بعض الأمراض الفطرية مثل: الفيوزاريوم Fusarium والفرتيسيليوم Verticillium والتى تنتشر بسرعة فى المحاليل المغذية مما تسبب شلل سريع للنباتات، وللتغلب على هذه المشكلة تستخدم أصناف النباتات المقاومة لهذه الأمراض بالإضافة إلى تعقيم المحلول.

وسوف نستعرض فى هذا الفصل –بمشيئة الله– المحاليل المغذية والشروط الواجب توافرها فيها، وكيفية تحضيرها من الأسمدة التجارية المتوفرة فى الأسواق، ونماذج لبعض المحاليل التجارية فى مصر والعالم. ولمزيد من التفاصيل يمكنكم الرجوع إلى كتاب «الزراعة وإنتاج الغذاء بدون تربة» (أبو الروس وشريف، سنة ١٩٩٥).

المحاليـل المغـذيـة Nutrient Solutions

إن الزراعة التقليدية تعتمد فى الأساس على ما تقوم به التربة -إلى جانب تدعيم النباتات النامية بها وتوفير التهوية الجيدة لجذورها -من إمداد النباتات بقدر من العناصر الغذائية الضرورية والذى يختلف باختلاف نوع الأرض وخصوبتها والذى ينضب -حتى فى أجود أنواع الأراضى- باستمرار الزراعة وتكثيفها على بقعة بعينها، الأمر الذى يحتم تعويض النقص فى محتوى التربة من العناصر الغذائية بإضافة الأسمدة والمخصبات التى تعيد إليها حيويتها وقدرتها على إنتاج المحاصيل. إذاً لا غنى عن استخدام الأسمدة للاستمرار فى عملية الزراعة، فإذا ما أمكن توفير الدعامة والتهوية الجيدة للنباتات فى أى بيئة غير بيئة الأرض الطبيعية، والتغذية بالأسمدة الذائبة فى الماء فإن ذلك يعتبر زراعة بدون تربة.

إذاً كل طرق الزراعة اللاأرضية تعتمد بصفة أساسية على التغذية بواسطة العناصر المغذية الأساسية المذابة فى الماء فيما يعرف بالمحلول المغذى. وهذا المحلول المغذى فضلاً عن كونه بيئة فى حد ذاته إلا أنه يعتبر العامل المحدد فى نجاح أى طرق أخرى من طرق الزراعة اللاأرضية والتى تستهدف تحقيق أعلى إنتاج ممكن من المحصول المنزرع، وهذا الهدف لا يمكن تحقيقه أو الوصول إليه إلا باستخدام محلول غذائى متزن تتوفر فيه كل عوامل التغذية المثلى، ولذلك ولأهمية هذا الموضوع، فلقد أفردنا له هذا الفصل للتعرف على ماهية المحلول المغذى، وما هى الشروط الواجب توافرها فيه، وأنواع المحاليل المغذية، وكيفية تحضيرها، ومعلومات أساسية أخرى تفيد أى دارس لهذا الموضوع.

١ - المحلول المغذى:

المحلول المغذى هو المحلول الذى يحتوى على جميع العناصر الغذائية الضرورية Essential elements اللازمة لنمو النباتات، وبنسب متوازنة مع بعضها البعض والذى يستخدم فى إمداد النبات بحاجته من الماء والعناصر الغذائية طوال فترة حياته. ومن الصعب القول بإن هناك ما يسمى بالمحلول المغذى المثالى أو المناسب لكل النباتات أو حتى بالنسبة للنبات الواحد. ويرجع ذلك إلى اختلاف النباتات عن بعضها بالنسبة

لاحتياجاتها من العناصر الغذائية الأساسية، بالإضافة إلى اختلاف احتياجات النبات الواحد من العناصر مع تغير مراحل نموه المختلفة إلا أنه وفى كل الأحوال فلابد أن تتوفر بعض الشروط الأساسية التى لا يمكن تجاهلها أو التغاضى عنها حتى يستطيع المحلول المغذى أداء دوره الأساسى والحيوى فى التغذية.

٢ - الشروط الواجب توافرها فى المحلول المغذى:

يجب أن تتوفر فى المحلول المغذى الشروط التالية:

١ - ألا يكون تركيز الأملاح فى المحلول المغذى مرتفعاً بدرجة تؤثر على نمو النبات، وعادة يكون التوصيل الكهربى للمحلول المغذى فى حدود من ٢,٠ إلى ٣,٠ ملليموز/سم، والضغط الإسموزى له فى حدود من ٠,٥ إلى ١,٠ ضغط جوى.

٢ - أن يكون رقم الحموضة pH للمحلول المغذى فى حدود من ٦,٠ إلى ٦,٥ حيث إن انخفاض الـpH إلى الحدود الحامضية الشديدة يؤدى إلى تلف جذور النباتات، بينما ارتفاع رقم الـpH إلى الجانب القاعدى يؤدى إلى ترسيب كثير من العناصر فى المحلول على صورة أملاح غير ذائبة لا يستفيد منها النبات.

٣ - أن تكون نسب العناصر إلى بعضها البعض تقارب إلى حد ما النسب التى يمتص بها النبات العناصر الغذائية المختلفة.

٣ - تركيز العناصر فى المحلول المغذى:

وجد Stoughton سنة ١٩٦٩ أن تركيز المغذيات فى مزارع المحاليل يكون فى حدود ١٠٠-٣٠٠ جزء فى المليون للنيتروجين، ١٢٠-٢٥٠ جزءاً فى المليون للبوتاسيوم. بينما أشار Hewitt سنة ١٩٦٩ أيضاً إلى أن المحلول القياسى يجب أن يحتوى على ١٦٨ جزءاً فى المليون للنيتروجين، ١٥٦ جزءاً فى المليون للبوتاسيوم. وهذه التركيزات من العناصر تناسب مزارع المحاليل الساكنة Static Nutrient Solution Culture (SNSC)، وهى مرتفعة جداً إذا ما قورنت بما تحتاجه مزارع المحاليل المتحركة أو الدائرة Flow Nutrient Solution Culture (FNSC) حيث وجد Asher and Ozanne سنة ١٩٧٩ فى بحثهم على ١٤ نوعاً من النباتات التى تم زراعتها فى المزارع التى يتم فيها تدوير المحلول FNSC أن أقصى محصول فى ثمانية أنواع منها تم الحصول عليه عندما كان تركيز البوتاسيوم

ثابتًا عند ٠,٩ جزء فى المليون، وفى الستة الأخرى عند تركيز من البوتاسيوم قدره ٣,٧٥ جزء فى المليون. كذلك وجد Clement وآخرون سنة ١٩٧٤ أن نمو النباتات كان مرضيًا فى المحلول الدائر عند ثبات تركيز النيتروجين عند ٠,١ جزء فى المليون.

هذا التعارض ما بين المحاليل الساكنة والمحاليل المستمرة فى الدوران يرجع إلى أنه فى حالة المحاليل الدائرة لا يحدث انخفاض فى تركيز العناصر حول المجموع الجذرى للنباتات، حيث يعمل الدوران المستمر على المحافظة أو بالأحرى على تجديد تركيز العنصر مما يجعله ثابتًا حول الجذور باستمرار بعكس الحالة فى مزارع المحاليل الساكنة، حيث يحدث انخفاض شديد لتركيز العناصر حول المجموع الجذرى نظرًا للاستنزاف المستمر للعناصر من حجم ثابت وغير متجدد من المحلول.

ومن ذلك نجد أن نمو النباتات يمكن أن يكون جيداً عند تركيزات منخفضة جداً من العناصر، ولكن يظل السؤال.. هل هذه التركيزات هى التركيزات المثلى لنمو النباتات؟، وأيضًا إلى أى حد يمكن أن نغير من هذه التركيزات دون أن يتأثر النمو؟

ولقد أظهرت بعض التجارب فى مزارع الأغشية **Nutrient Film Tecnique (NFT)** أن المحصول لم يتأثر بدرجة معنوية مع اختلاف تركيز النيتروجين فى المحلول المغذى ما بين ١٠-٣٢٠ جزءًا فى المليون (على شرط ثبات التركيز خلال موسم النمو)، ولكن بصفة عامة يفضل أن يكون تركيز العنصر فى المحلول المغذى مرتفعًا نسبيًا حتى نضمن وجود رصيد من العناصر المغذية فى النظام.

وكأرقام استرشادية يوضح الجدول رقم (٩-٢) حدود تركيزات العناصر فى المحلول المغذى للنبات.

والحد الأدنى المشار إليه فى الجدول أكبر بكثير من الحد الذى يبدأ عنده ظهور أعراض نقص العناصر على النبات، ولذلك إذا أظهر التحليل قيم منخفضة للعنصر فى المحلول يكون ذلك دليلاً على تناقص مستمر للعنصر مما يؤدى إلى ضرر للنبات إذا ما استمر هذا الانخفاض.

جدول (٩-٢): العناصر المغذية ومدي تركيزاتها في المحلول المغذي بالجزء في المليون

العنصر	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد المفضل
النيتروجين Nitrogen	٥٠	٣٠٠	١٥٠-٢٠٠
الفوسفور Phosphorous	٢٠	٢٠٠	٥٠
البوتاسيوم Potassium	٥٠	٨٠٠	٣٠٠-٥٠٠
الكالسيوم Calcium	١٢٥	٤٠٠	١٥٠-٣٠٠
الماغنسيوم Magnessium	٢٥	١٠٠	٥٠
الحديد Iron	٣	١٢	٥
المنجنيز Manganese	٠,٥	٢,٥	١,٠
النحاس Coper	٠,٠٥	١,٠	٠,١
الزنك Zinc	٠,٠٥	٢,٥	٠,١
البورن Boron	٠,١	١,٥	٠,٣-٠,٥
الموليبدنم Molybdenium	٠,٠١	٠,١	٠,٠٥
الصوديوم Sodium	-	٢٥٠	-
الكلور Chlorine	-	٤٠٠	-

٤- كيف يمكنك تحضير المحلول المغذى:

من الضرورى فهم وتعلم كيفية تحضير المحلول المغذى سواء كان ذلك من الكيماويات النقية (فى حالة التجارب والبحوث)، أو من الأسمدة التجارية (فى حالة الزراعة الاقتصادية على أى مستوى).

خواص الماء:

تعتبر خواص الماء ذات أهمية قصوى فى تحضير المحاليل المغذية للزراعات اللا أرضية لذلك يجب أن يراعى ما يلى:

(١) نسبة كلوريد الصوديوم NaCl

يجب أن يكون الماء نقيًا وعذبًا بحيث لا يتعدى نسبة كلوريد الصوديوم به عن ٥٠ جزءًا فى المليون. فالماء المحتوى على أكثر من ٥٠ جزءًا فى المليون من كلوريد صوديوم NaCl لا يناسب النمو للنبات، وكلما ازداد تركيز كلوريد الصوديوم انخفض معدل النمو والذى قد يؤدى فى النهاية إلى موت النبات.

(٢) نسبة الأملاح الكلية الذائبة Total Soluble Salts (TSS)

بالإضافة إلى كلوريد الصوديوم فإنه يجب أن يؤخذ فى الاعتبار المحتوى الكلى للأملاح الذائبة فى الماء Total soluble salts (TSS)، حيث إن قدرة النباتات على امتصاص الماء وما به من عناصر غذائية تقل مع زيادة محتواه من الأملاح، وإن كانت النباتات تختلف فيما بينها فى قدرتها على تحمل التركيزات المرتفعة من الأملاح، فهناك نباتات حساسة للملوحة Sensitive plants، وأخرى متوسطة الحساسية Moderately sensitive، وثالثة متوسطة التحمل للملوحة Moderately tolerant، والرابعة تتحمل الملوحة وتسمى Tolerant plants. ولقد وجد بعض الباحثين أنه يمكن استخدام مياه ملحية تركيزات الأملاح بها تصل إلى ٣٠٠ جزء فى المليون فى تنمية بعض النباتات فى الزراعات اللا أرضية تحت اعتبارات خاصة، منها المعرفة المسبقة لقدرة تحمل نوع النبات وصنفه للأملاح، ومرحلة نمو النبات، وإضافة العناصر الغذائية غير الموجودة فى المياه. لذلك فإنه عند استخدام مياه ملحية فى الزراعات اللا أرضية فإن النباتات التى يتم زراعتها هى النباتات المتحملة للملوحة Tolerant plants أو متوسطة التحمل للأملاح Moderately tolerant مثل القرنفل والطماطم والخيار والخس وحتى بين أنواع النباتات المتحملة للملوحة فإن درجة التحمل تختلف من صنف إلى آخر.

(٣) عسر الماء Hard Water

يتوقف مقدار عسر الماء Hardness على محتواه من أيونات البيكربونات HCO_3، فكلما زاد تركيز البيكربونات كلما ازداد عسر الماء، الأمر الذى يؤدى إلى زيادة رقم الـ pH وعليه يقل تيسر وصلاحية عنصر الحديد مثلاً للنبات. ومن الناحية العملية فإن مياه الآبار فى المناطق ذات الأصل الجيرى يمكن أن تحتوى على تركيز مرتفع من أملاح كربونات الكالسيوم والماغنسيوم. والماء العسر المحتوى على كربونات الكالسيوم والماغنسيوم يعتبر مناسب لتنمية النباتات مثله فى ذلك مثل الماء اليسر Soft water.

وفى كل الأحوال فإنه قبل استخدام أى مصدر للماء فى تحضير المحلول المغذى يجب تحليله ومعرفة مستوى كل من أيونات العناصر التالية: الكالسيوم Ca^{2+} الماغنسيوم Mg^{2+} – الحديد Fe^{2+} – الكربونات CO_3^{2+} – البيكربونات – HCO_3، وبالتالى تحديد الكميات المطلوب إضافتها من كل منها للوصول إلى التركيز المطلوب فى المحلول المغذى.

تحضير محلول كوبر Cooper Solution :

يعتبر هذا المحلول أكثر المحاليل استخداماً فى مزارع الأغشية المغذية. ويبين الجدول رقم (٩–٣) تركيزات العناصر فى هذا المحلول المغذى، وهى محسوبة على أساس أجزاء فى المليون أو بمعنى آخر جرام/ ١٠٠٠ لتر من المحلول.

جدول (٩ – ٣): تركيزات العناصر الغذائية في محلول كوبر

العنصر	الرمز	التركيز بالجزء فى المليون
النيتروجين Nitrogen	N	٢٠٠
الفوسفور Phosphorous	P	٦٠
البوتاسيوم Potassium	K	٣٠٠
الكالسيوم Calcium	Ca	١٧٠
الماغنسيوم Magnessium	Mg	٥٠
الحديد Ferrous (Iron)	Fe	١٢
المنجنيز Manganese	Mn	٢
النحاس Coper	Cu	٠,١
الزنك Zinc	Zn	٠,١
البورن Boron	B	٠,٣
الموليبدنم Molybdenium	Mo	٠,٢
الكبريت Sodium	S	٦٩

ويبين جدول (٩–٤) الأملاح التى يحضر منها محلول كوبر المغذى والأوزان المطلوبة من كل ملح لتحضير ١٠٠٠ لتر (متر مكعب) من هذا المحلول. ونظراً لشيوع استخدام هذا المحلول فى تغذية النباتات، فسوف نستعرض كيفية حساب أوزان الأملاح المطلوبة لتحضير ١٠٠٠ لتر من هذا المحلول المغذى:

جدول (٩-٤) : أوزان الأملاح بالجرام المستخدمة لتحضير ١٠٠٠ لتر من محلول كوبر المغذى

الملح المستخدم فى التحضير ورمزه	الوزن الجزيئى	الوزن المطلوب
نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2 . 4H_2O$	٢٣٦	١٠٠٣
نترات البوتاسيوم KNO_3	١٠١	٥٨٣
فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4	١٣٦	٢٦٣
كبريتات الماغنسيوم $MgSO_4 . 7H_2O$	٢٤٦,٥	٥١٣
حديد مخلبى Fe-EDTA	٣٦٧	٧٩
كبريتات منجنيز $MnSO_4 . H_2O$	١٦٩	٦,١
حامض بوريك H_3BO_3	٦٢	١,٧
كبريتات نحاس $CuSO_4 . 5H_2O$	١٤٩,٧	٠,٣٩
موليبدات أمونيوم $(NH_4)_6 Mo_7 O_{24} . 4H_2O$	١٢٣٦	٠,٣٧
كبريتات زنك $ZnSO_4 . 7H_2O$	٢٨٧,٦	٠,٤٤

١- تركيز الفوسفور المطلوب هو ٦٠ جزءاً فى المليون (٦٠ جراماً/ ١٠٠٠ لتر) والملح المستخدم هو فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4، وزنه الجزيئى ١٣٦ جم ويحتوى على وزن ذرى واحد من الفوسفور قدره ٣١ جم. وبالتالى فإنه للحصول على ٦٠ جرامًا من الفوسفور فإنه يلزم وزنه قدرها [١٣٦÷٣١] X ٦٠ = ٢٦٣ جم من ملح KH_2PO_4 فإذا تم إذابة هذه الوزنه فى ١٠٠٠ لتر من الماء فإن المحلول الناتج يكون تركيز الفوسفور (P) به = ٦٠ جزءاً فى المليون.

وفى صورة مختصرة فإن خطوات الحساب هى :

أ- اكتب التركيز المطلوب من العنصر = ٦٠ جزءاً فى المليون.

ب- احسب الوزن الجزيئي للملح المستخدم (فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4) = ١٣٦ .

جـ- احسب وزن الملح الذى يعطى ١ جزء فى المليون فوسفور = ١٣٦ ÷ ٣١ .

د- احسب وزن الملح الذى يعطى ٦٠ جزءًا فى المليون فوسفور = [١٣٦ ÷ ٣١] × ٦٠ = ٢٦٣ جم.

٢- ملح فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4 السابق لا يحتوى على الفوسفور فقط ولكن به بوتاسيوم أيضًا K)، بحيث أن كل وزن جزيئى (١٣٦ جرامًا) يحتوى على وزن ذرى واحد من البوتاسيوم قدره ٣٩ جرامًا، وبالتالى فإن الوزنة التى مقدارها ٢٦٣ جم من ملح فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4 والتى مقدارها ٢٦٣ جم من ملح فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4 والتى تمت إذابتها فى ١٠٠٠ لتر من الماء تحتوى على مقدار من البوتاسيوم يمكن حسابه كما يلى :

أ- الوزن الجزيئى لملح (فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4) = ١٣٦.

ب- نسبة البوتاسيوم فى الملح = ٣٩ ÷ ١٣٦

جـ- وزن البوتاسيوم فى ٢٦٣ جم من KH_2PO_4 = [٣٩÷ ١٣٦] ×٢٦٣ = ٧٥ جم.

وحيث إن هذه الوزنة تم إذابتها فى ١٠٠٠ لتر من الماء، فيكون تركيز البوتاسيوم ٧٥ جزءًا فى المليون . ولكن تركيز البوتاسيوم المطلوب فى المحلول المغذى (انظر جدول التركيزات رقم ٩-٣) هو ٣٠٠ جزء فى المليون، ولذلك فإنه يلزم إضافة كمية إضافية من البوتاسيوم (K) قدرها ٢٢٥ جزءًا فى المليون . تستكمل هذه الكمية اللازمة من البوتاسيوم من ملح نترات البوتاسيوم KNO_3والذى وزنه الجزيئى ١٠١ جم، والذى يحتوى على وزن ذرى من البوتاسيوم قدره ٣٩ جم، وبالتالى فإنه للحصول على ٢٢٥ جم من البوتاسيوم يلزم وزنه من نترات البوتاسيوم قدرها ٢٢٥ × [١٠١ ÷ ٣٩] = ٥٨٣ جرامًا .

٣- إضافة ٥٨٣ جم من ملح نترات البوتاسيوم KNO_3 إلى ١٠٠٠ لتر من الماء يعطى كمية من النيتروجين للمحلول يمكن حسابها كما يلى:

أ- نسبة النتروجين N فى نترات البوتاسيوم KNO_3 (من الوزن الذرى والوزن الجزيئى) = ١٤ ÷ ١٠١

ب- وزنة نترات البوتاسيوم KNO_3 (٥٨٣ جم) التى تم إضافتها للماء تحتوى على كمية نيتروجين قدرها [١٤ ÷ ١٠١] × ٥٨٣ = ٨١ جم نتيروجين.

ولرفع تركيز النيتروجين إلى الحد المطلوب فى المحلول المغذى وهو ٢٠٠ جزء فى المليون، فإنه يلزم إضافة ١١٩ جزءاً فى المليون من النيتروجين بدون إضافة كمية أخرى من البوتاسيوم. ولذلك فإن هذه الكمية المتبقية من النيتروجين يتم الحصول عليها من ملح نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ والذى وزنه الجزيئى ٢٣٦ جراماً ويحتوى على ٢ وزن ذرى من النيتروجين قدرهما ٢ × ١٤ = ٢٨ جم، وبالتالى فإن كمية نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ اللازمة لإعطاء ١١٩ جزءاً فى المليون الإضافية من النيتروجين تساوى: ١١٩ × [٢٣٦ ÷ ٢٨] = ١٠٠٣ جم.

٤- إضافة ١٠٠٣ جرام من ملح نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ إلى ١٠٠٠ لتر من المحلول المغذى تضيف إلى جانب الـ ١١٩ جزءاً فى المليون نيتروجين، عنصر الكالسيوم. ونسبة الكالسيوم فى كل وزن جزيئى من نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ = ٤٠ ÷ ٢٣٦. وعلى ذلك فإن كمية الكالسيوم فى ١٠٠٣ جم من ملح نترات الكالسيوم تساوى ١٠٠٣ × [٤٠ ÷ ٢٣٦] = ١٧٠ جم. وهذا يعنى أن تركيز الكالسيوم فى المحلول يساوى ١٧٠ جزءاً فى المليون لأن الحجم الكلى للمحلول = ١٠٠٠ لتر، وهذا هو التركيز المطلوب من الكالسيوم فى المحلول.

وحتى الآن تم إذابة ٣٦٣ جم فوسفات بوتاسيوم، ٥٨٣ جم نترات بوتاسيوم، ١٠٠٣ جم نترات كالسيوم فى ١٠٠٠ لتر من الماء لتعطى محلول مغذى يحتوى على ٦٠ جزءاً / مليون فوسفور، ٣٠٠ جزء / مليون بوتاسيوم، ٢٠٠ جزء / مليون نتروجين، ١٧٠ جزءاً / مليون كالسيوم.

٥- نستمر فى إضافة باقى الأملاح للحصول على باقى العناصر الغذائية بنفس الكيفية السابقة، حيث يتم إضافة الماغنسيوم إلى المحلول على صورة ملح كبريتات الماغنسيوم $MgSO_4$ والذى له وزن جزيئى قدره ٢٤٦ جم ويحتوى على وزن ذرى واحده من الماغنسيوم (Mg) قدره ٢٤ جم. وبالتالى فإنه للحصول على تركيز من الماغنسيوم قدره ٥٠ جزءاً فى المليون يلزم كمية قدرها ٥٠ × [٢٤٦ ÷ ٢٤] = ٥١٣ جم من كبريتات الماغنسيوم يتم إذابتها فى الألف لتر من الماء.

٦- تركيز الحديد المطلوب (١٢ جزءاً فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنة قدرها ١٢ × [٣٦٧ ÷ ٥٦] = ٧٩ جم من مادة FeEDTA.

٧- تركيز المنجنيز المطلوب (٢ جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنة قدرها ٢ × [١٦٩ ÷ ٥٥] = ٦,١ جم من ملح كبريتات المنجنيز.

٨- تركيز البورن المطلوب (٠,٣ جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنة قدرها ٠,٣ × [٦٢ ÷ ١١] = ١,٧ جم من حامض البوريك.

٩- تركيز النحاس المطلوب (٠,١ جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنة قدرها ٠,١ × [٢٥٠ ÷ ٦٤] = ٠,٣٩ جم من ملح كبريتات النحاس.

١٠- تركيز الموليبدنم المطلوب (٠,٢ جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنة قدرها ٠,٢ × [١٢٣٦ ÷ ٦٧٢] = ٠,٣٧ جم من ملح موليبدات الأمونيوم.

١١- تركيز الزنك المطلوب (٠,١ جزء فى المليون) يتم الحصول عليه من وزنة قدرها ٠,١ × [٢٨٧ ÷ ٦٥] = ٠,٤٤ جم من ملح كبريتات الزنك.

جميع هذه الحسابات تعطى أوزان المواد المطلوب إذابتها فى الألف لتر من الماء للحصول على المحلول المغذى كما هو واضح من جدول (٩-٤). ويلاحظ فى جميع الحسابات السابقة أننا لم نضع فى الاعتبار درجة نقاوة المادة الكيماوية، ولذلك فإن أوزان المواد المدونة فى الجدول يتم تعديلها بناء على درجة نقاوة كل مادة. فمثلاً إذا كانت نقاوة مادة نترات الكالسيوم ٩٠٪، فإن الوزن المطلوب من المادة النقية (١٠٠٣

جم) يصبح ١٠٠٣ × [١٠٠ ÷ ٩٠] = ١١١٤ جم نترات كالسيوم من المادة ذات النقاوة ٩٠٪، وهكذا بالنسبة لباقى الأملاح.

٥- صورة النيتروجين فى المحلول المغذى:

من المعروف أن النبات يمتص النيتروجين إما على صورة أيونات نترات NO_3^- أو كاتيونات أمونيوم NH_4^+ بنفس الدرجة من الكفاءة. ولكن وجد أن بعض النباتات النامية فى نظام الأغشية المغذية يتأثر نموها بدرجة كبيرة إذا كان مصدر النيتروجين الوحيد فى المحلول المغذى على صورة أمونيوم. فمثلاً وجد أن بادرات الطماطم الصغيرة تموت بعد بضعة أسابيع من التغذية بالنيتروجين الأمونيومى، وإن كانت البادرات الأكبر سنًا أكثر قدرة على تحمل الأمونيوم إلا أن نمو جذورها يتأثر بذلك. وبالرغم من هذا فإن استخدام النيتروجين الأمونيومى فى المحاليل المغذية قد يكون ضروريًا فى بعض الحالات وخاصة إذا كانت المياه المستخدمة فى تحضير المحلول قلوية التأثير. ففى مثل هذه الحالات نجد أن استخدام النيتروجين الأمونيومى يفيد كثيرًا فى منع ارتفاع رقم pH المحلول المغذى بدرجة كبيرة، وبالتالى يقلل من كمية الأحماض اللازمة لخفض pH المحلول باستمرار. وبصفة عامة فإنه إذا كانت المياه المستخدمة فى تحضير المحلول المغذى تحتوى على تركيز مناسب من الكالسيوم، فإنه يمكن استخدام نترات الأمونيوم بدلاً من نترات الكالسيوم للحصول على التركيز المطلوب من النيتروجين فى المحلول المغذى.

٦- ضبط pH المحلول المغذى بعد تحضيره:

أبسط طرق قياس pH المحلول هى الطريقة الوصفية وفيها يتم استخدام الأشرطة الورقية والتى يتغير لونها على حسب رقم pH المحلول الذى تغمس فيه. ويتم مقارنة لون هذه الورقة المبتلة مع خريطة توضح الألوان القياسية لدرجات pH من ١ إلى ١٤ ومن ذلك يمكن تحديد رقم pH المحلول.

وهناك طرق أخرى أكثر دقة يستخدم فيها أدلة Indicators، وهذه الأدلة عبارة عن مواد يتغير لونها على حسب رقم pH الوسط. ويتم قياس pH المحلول عن طريق وضع

جزء من المحلول فى أنبوبة اختبار، ثم يضاف إليه نقطة من الدليل فيتلون السائل بلون معين، ويتم مقارنة هذا اللون مع خريطة الألوان القياسية لدرجات الـ pH المختلفة كما سبق توضيحه. وأفضل الطرق لقياس رقم الـ pH للمحلول هى استخدام جهاز الـ pH Meter.

ويفضل أن يكون رقم pH المحلول المغذى فى حدود من ٦ إلى ٦,٥، وانخفاض pH المحلول كثيراً عن ذلك (أى يصبح حامضى شديد) يكون ضار بالنبات، حيث قد يسبب سمية للجذر، كما أن الارتفاع الشديد لرقم pH المحلول (أى يتحول إلى قلوى شديد) يؤدى إلى ترسيب كثير من العناصر فى المحلول على صورة غير ذائبة لا يستطيع النبات أن يستفيد بها.

بعد تحضير المحلول المغذى يقاس رقم الـ pH، فإذا كان مرتفعًا عن ٦,٥ يضاف إلى المحلول بعض الأحماض (مثل حامض النيتريك HNO_3 أو حامض الفوسفوريك H_3PO_4) لخفض رقم pH المحلول إلى الرقم المطلوب. أما إذا كان رقم pH المحلول أقل من ٦,٠ (حامضى) فإنه يضاف بعض المواد القلوية مثل أيدروكسيد البوتاسيوم KOH لرفع رقم الـ pH إلى القيمة المطلوبة.

٧- قياس تركيز الأملاح فى المحلول المغذى بعد تحضيره:

يعتبر تركيز الأملاح الذائبة فى المحلول المغذى عامل هام جداً فى تأثيره على نمو النباتات. فارتفاع تركيز الأملاح بدرجة كبيرة يؤدى إلى انخفاض واضح فى محصول النبات ويرجع ذلك إلى أحد الأسباب التالية:

أ- التأثير الأسموزى Osmotic Effect: حيث تقل قدرة النبات على امتصاص الماء نتيجة لارتفاع الضغط الأسموزى للمحلول.

ب- التأثير النوعى أو السمى Toxic or Specific Ion Effect: حيث يؤدى زيادة تركيز أيونات معينة فى المحلول مثل الصوديوم، الكلوريد، البورن إلى سمية النبات نتيجة للاضطراب فى العمليات الفسيولوجية.

ولذلك فإنه بعد تحضير المحلول المغذى يجب قياس تركيز الأملاح به، ويتم ذلك عن طريق قياس التوصيل الكهربى للمحلول (Electrical Conductivity (EC باستخدام جهاز خاص لذلك. ومن المعروف أن هناك علاقة ما بين قدرة المحلول على توصيل تيار الكهرباء وتركيز الأملاح به، ولذلك فكلما زاد تركيز الأملاح كلما زاد مقدار التوصيل.

ووحدات قياس التوصيل الكهربى هى الموز/سم (mhos/cm) أو السيمن Semin/ سم (S/cm) والموز = السيمن. وهناك وحدات أقل من الموز أو السيمن وهى المللى والميكرو لكليهما. [والموز = ١٠٠٠ ملليموز = ١٠٠٠٠٠٠ ميكروموز].

وفى كل الأحوال يمكن تحويل هذه الوحدات إلى وحدات أخرى كما يلى:

EC ملليموز / سم x ١٠ = ملليمكافىء/ لتر

EC ملليموز / سم x ٥ = ملليمكافىء/ ١٠٠ جم تربة

EC ملليموز / سم x ٦٤٠ = جزء فى المليون

EC ملليموز / سم x ٠,٠٦٤ = نسبة مئوية (٪)

EC ملليموز / سم x ٠,٣٦ = ضغط جوى

EC ملليموز / سم x ٠,٣٥٠ = الأملاح الذائبة الكلية ٪

ويجب أن يراعى أن لا يقل التوصيل الكهربى للمحلول المغذى عن ٢,٠ ملليموز/ سم، فإذا انخفض عن ذلك يضاف كمية من العناصر إلى المحلول لرفع التوصيل مرة أخرى إلى ٣,٠ ملليموز/ سم.

وفى هذا الصدد تعتبر نوعية المياه المستخدمة فى تحضير المحلول المغذى ذات عامل هام جداً فى إقامة مزارع المحاليل. فإذا احتوت هذه المياه على تركيز مرتفع من الأملاح فإن ذلك قد يحد من استخدامها، حيث إنها سوف تزيد من محتوى المحلول المغذى من الأملاح بدرجة كبيرة، كما قد تحتوى على تركيزات مرتفعة من الأملاح التى قد تسبب سمية للنبات. ولذلك فإنه قبل تحضير المحلول المغذى يجب قياس محتوى المياه من الأملاح، وكذلك نوعية الأملاح الموجودة بها.

وتجدر الإشارة إلى أن النباتات فى مزارع المحاليل تستطيع النمو فى تركيزات تصل إلى ٨ ملليموز / سم (Aboulroos وآخرون سنة ١٩٩٥) وهذا التركيز المرتفع قد لا تستطيع النباتات أن تتحمله عند نموها فى التربة.

٨- المحلول المغذى المركز Stock Solution :

من الأفضل فى كثير من الأحيان أن يتم تحضير محلول مركز Stock Solution وهذا يتم تخفيفه بالماء إلى التركيز المناسب، وذلك بدلاً من تحضير المحلول المغذى بالتركيز المطلوب من البداية. ولكن يجب أن تراعى نقطتين فى تحضير المحلول المركز هما :

أ- عدم حدوث ترسيب لبعض العناصر الغذائية فى المحلول نتيجة لتفاعلها مع عناصر اخرى، ويحدث هذا فى حالة تحضير المحاليل المركزة. فمثلاً : زيادة تركيز الكالسيوم عن حد معين يؤدى إلى ترسيب الفوسفات على صورة فوسفات الكالسيوم غير الذائبة، ولذلك يجب أن تراعى مثل هذه التفاعلات عند حساب أقصى تركيزات للعناصر يسمح بها فى المحلول المركز لتلافى عمليات الترسيب.

ب- الأملاح الذى يحضر منها المحلول المغذى ليست تامة الذوبان فى الماء وإنما معظمها شحيحة الذوبان. فمثلاً : ذوبان نترات البوتاسيوم ١٣٪ أى ١٣٠ جرامًا لكل لتر من الماء، بينما مادة أخرى مثل نترات الكالسيوم تذوب بمعدل ٢٦٦٠ جرامًا فى اللتر. ولذلك فإن أقصى تركيز يمكن تحضيره من المحلول المغذى المركز يتحكم فيه الملح ذو درجة الذوبان الأقل، وعادة ما يكون التركيز فى المحلول المركز من ١٠٠ إلى ٢٠٠ مرة قدر المحلول المغذى.

وكل من هاتين النقطتين يجب مراعاتهما عند تحضير المحلول المركز. وعادة ما يتم تحضير محلولين مركزين هما : محلول (A) ويحتوى على نترات الكالسيوم والحديد المخلبى، ومحلول (B) ويحتوى على باقى الأملاح الأخرى، أى يحتوى كل محلول على مجموعة العناصر التى لا تؤثر على بعضها البعض (أى لا ترسب بعضها). ويراعى أن يكون حجم كل محلول من المحلولين المركزين فيما بين ٤٥ إلى ١٠٠ لتر حتى يمكن

تداوله بسهولة. ويفضل أن تكون المادة المصنوع منها الوعاء الوعاء من البلاستيك غير المنفذ للضوء.

ومن الملاحظات التى لا يجب إهمالها عند تحضير المحاليل المركزة ما يلى:

(١) عند تحضير المحلول المركز (A) تضاف نترات الكالسيوم إلى الماء، ويتم التقليب جيداً حتى تمام الذوبان، أما الحديد المخلبى يتم خلطه جيداً مع كمية قليلة من الماء، ثم يضاف إلى محلول نترات الكالسيوم.

(٢) عند تحضير المحلول المركز (B) تضاف أملاح المغذيات الكبرى للماء، وتذاب جيداً، أما أملاح العناصر الصغرى فتذاب جميعها (عدا حامض البوريك) فى جزء قليل من الماء حتى تمام الذوبان، ثم تخلط مع المحلول (B). أما حامض البوريك فيذاب أولاً فى ماء مغلى حتى تمام ذوبانه قبل إضافته إلى المحلول.

(٣) عدم خلط المحلولين المركزين (B) & (A) مع بعضهما البعض بدون تخفيف وإلا حدث ترسيب لفوسفات الكالسيوم فى الحال.

٩- أمثلة للمحاليل المغذية المركزة (كاملة العناصر الصغرى والكبرى):

أ- يتم تحضير ثلاثة محاليل مركزة كما يلى:

المحلول المركز (A):

يحضر من ٧,٥ كيلو جرام من نترات الكالسيوم فى ١٠٠ لتر ماء ٣٠٠ جرام من الحديد المخلبى

المحلول المركز (B):

يحضر من الأوزان التالية فى ١٠٠ ماء ٩,٠ كيلو جرام من نترات البوتاسيوم ٣,٠ كيلو جرام من فوسفات أحادى البوتاسيوم ٦,٠ كيلو جرام من كبريتات الماغنسيوم

تابع المحلول (B):

٤٠ جراماً من كبريتات المنجنيز
٢٤ جراماً من حامض البوريك
٨ جرام من كبريتات النحاس
٤ جرام من كبريتات الزنك
١ جرام من موليبيدات الأمونيوم

المحلول المركز (c):

يحضر من ١٠ لتر من حامض النيتريك فى ١٠٠ لتر ماء

ويستخدم فى ضبط رقم الـ pH للمحلول المخفف.

تركيزات العناصر فى المحلول المغذى المخفف (جزء فى المليون) بعد التخفيف بمعدل ١ : ١٠٠ من المحلول المركز السابق.

العناصر الكبرى	التركيز (PPM)	العناصر الصغرى	التركيز (PPM)
النيتروجين N	٢١٤	الحديد Fe	٤,٥
الفوسفور P	٦٨	المنجنيز Mn	١,٠
البوتاسيوم K	٤٣٤	البورن B	٠,٤
الماغنسيوم Mg	٥٩	النحاس Cu	٠,٢
الكالسيوم Ca	١٢٨	الزنك Zn	٠,٠٩
		موليبدنم Mo	٠,٠٥

ب- باستخدام ماء عسر Hard Water

يتم هنا أيضاً تحضير ثلاثة محاليل مركزة كما يلى :

المحلول المركز (A) :

يحضر من ٥,٠ كيلو جرام من نترات الكالسيوم فى ١٠٠ لتر ماء

٣٠٠ جرام من الحديد المخلبى

المحلول المركز (B) :

يحضر من الأوزان التالية فى ١٠٠ لتر ماء

٨,٠	كيلو جرام من نترات البوتاسيوم
٤,٠	كيلو جرام من كبريتات البوتاسيوم
٦,٠	كيلو جرام من كبريتات الماغنسيوم
٦٠٠	جرام من نترات الأمونيوم
٤٠	جرام من الكبريتات المنجنيز
٢٤	جرام من حامض البوريك
٨	جرام من كبريتات النحاس
٤	جرام من كبريتات الزنك
١	جرام من موليبدات الأمونيوم

المحلول المركز (C) :

يحضر من ٦ لتر من حامض النيتريك + ٣ لتر من حامض الفوسفوريك فى ١٠٠ لتر ماء

ويستخدم فى ضبط رقم الـ pH للمحلول المخفف .

وتركيزات العناصر (جزء فى المليون) فى المحلول المغذى المخفف بمعدل ١ : ١٠٠ من المحلول المركز السابق كما يلى :

العناصر الكبرى		التركيز (PPM)	العناصر الصغرى		التركيز (PPM)
النيتروجين	N	١٩٢	الحديد	Fe	٤,٥
البوتاسيوم	K	٤٩٠	المنجنيز	Mn	١,٠
الماغنسيوم	Mg	٥٩	البورن	B	٠,٤
الكالسيوم	Ca	٨٥	النحاس	Cu	٠,٢
الفوسفور	P	ـــــ	الزنك	Zn	٠,٠٩
			موليبدنم	Mo	٠,٠٥

ملاحظات على تركيب المحلول :

١) يلاحظ أن تركيز النيتروجين والفوسفور سوف يزداد بإضافة المحلول (C) .

٢) عدم إضافة الفوسفور ضمن مكونات المحلول (B) اعتماداً على ماسوف يضاف من المحلول (C) .

٣) إذا لوحظ أن الكميات المضافة من المحلول (C) لاتفى باحتياجات النباتات النامية، فإنه– وعلى الفور– يتم إضافة ١,٥ كيلو جرام من فوسفات أحادى البوتاسيوم إلى المحلول (B)، وفى المقابل يتم خفض كمية كبريتات البوتاسيوم من ٤,٠ إلى ٣,٠ كيلو جرام .

١٠ – أمثلة للمحاليل المغذية المستخدمة تجارياً فى المزارع اللاأرضية :

اقترح كثير من العلماء العديد من المحاليل المغذية المناسبة من وجهة نظر كل منهم لتغذية النباتات . ولكن هناك بعض الملامح المشتركة لكل هذه المحاليل وهى أن ثلاثة من المغذيات الكبرى وهى الكالسيوم Ca^{++}، والماغنسيوم Mg^{++}، والبوتاسيوم K^{+} توجد على شكل كاتيونات وثلاثة منها توجد على صورة أنيونات وهى النترات NO_3^-، والفوسفات $H_2PO_4^-$، والكبريتات SO_4^{2-} .

وعلى ذلك فجميع المغذيات يمكن الحصول عليها من ثلاثة أملاح هى نترات البوتاسيوم KNO_3، وفوسفات الكالسيوم $Ca\ (H_2PO_4)_2$، وكبريتات الماغنسيوم $MgSO_4$، ولكن مع ذلك فإنه يفضل استخدام أربعة أملاح بدلاً من ثلاثة حيث يوفر ذلك مرونة أكبر فى تعديل تركيز ونسب المغذيات إلى بعضها البعض فى المحلول المغذى.

ولكن استخدام الكيماويات النقية فى تحضير المحاليل المغذية لايمكن أن يتم إلا على نطاق ضيق فى التجارب والأبحاث، بينما فى غير ذلك يعتبر أمراً بالغ الصعوبة خاصة إذا كان تحضير المحاليل بغرض استخدامها فى الزراعة على مساحات واسعة للإنتاج التجارى Commercial scale للحصول على عائد اقتصادى عالٍ، حيث إن ارتفاع أسعار هذه الكيماويات يحول دون ذلك. لذلك فلابد من التغلب على هذه المشكلة وتحضير المحاليل المغذية من الأسمدة التجارية التى تستخدم فى تسميد النباتات فى الأراضى الزراعية سواء كان ذلك تحت الصوب أو خارجها، وإن كان يفضل استخدام الأسمدة الأكثر نقاوة والتى غالباً ماتستخدم تحت ظروف الصوب الزراعية.

وسوف نستعرض فيما يلى كيفية تحضير المحاليل المغذية من الأسمدة شائعة الاستخدام فى الزراعات اللاأرضيه فى بعض الدول التى تستخدم هذا الأسلوب من الزراعة على نطاق تجارى:

الولايات المتحدة الأمريكية:

أ - المحلول المستخدم صيفاً:

تركيز العنصر بالجزء فى المليو ن [N= ١٨٠، P= ٦٣، K= ٤١٠، Ca= ٢٢٠، Mg= ٥٠]

التحضير :

الملح	الكمية بالجرام لكل ١٠٠ لتر
نترات البوتاسيوم	١١٠
كبريتات الكالسيوم (جبس)	٧٦
كبريتات الماغنسيوم	٥٢
سوبر فوسفات ثلاثى	٣١
كبريتات الأمونيوم	١٤
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**٢٨٣**

ب- المحلول المستخدم شتاء :

تركـيز العنصر بالجـزء فى المليو ن [N =١٠٤، P=٦٣، K = ٤١٠، Ca =٢٢٠، Mg= ٥٠]

التحضير :

الملح	الكمية بالجرام لكل ١٠٠ لتر
نترات البوتاسيوم	٥٥
كبريتات البوتاسيوم	٥٠
كبريتات الكالسيوم (جبس)	٧٦
كبريتات الماغنسيوم	٥٢
سوبر فوسفات ثلاثى	٣١
كبريتات الأمونيوم	١٤
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**٢٧٨**

المملكة المتحدة (إنجلترا) :

أ- المحلول الأول :

تركيز العنصر بالجزء في المليون [N = ٢٠٠، P = ٨٨، K = ٢٠٠، Ca =٢٧٠، Mg= ٥٠]

التحضير :

الملح	الكمية بالجرام لكل ١٠٠ لتر
نترات البوتاسيوم	٥٥
نترات صوديوم	٦٤
كبريتات الكالسيوم (جبس)	٨٦
كبريتات الماغنسيوم	٥٢
سوبر فوسفات ثلاثي	٤٤
كبريتات الأمونيوم	١٢
الوزن الكلي للأملاح المضافة	**٣١٣**

ب- المحلول الثاني :

تركيز العنصر بالجـزء في المليـون [N=١٤٥، P=٧٠، K= ٩٠، Ca=١٨٠ Mg= ٥٨]

التحضير :

الملح	الكمية بالجرام لكل ١٠٠ لتر
فوسفات أحادى البوتاسيوم	٣١
نترات الكالسيوم	١٠٧
كبريتات الماغنسيوم	٥٨
كبريتات الامونيوم	٩
الوزن الكلي للأملاح المضافة	

ألمانيا :

المحلول المستخدم هناك يعرف بمحلول **Knop**

تركيز العنصر بالجـزء فى المليـون [N =١٢٥، P =٤٥، K = ١٣٦، Ca =١٣٦، Mg= ٢٠]

التحضير :

الملح	الكمية بالجرام لكل ١٠٠ لتر
فوسفات أحادى البوتاسيوم	٢٠
نترات الكالسيوم	٨٠
كبريتات الماغنسيوم	٢٠
نترات البوتاسيوم	٢٠
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**١٤٠**

جنوب أفريقيا :

أ- المحلول المستخدم صيفاً :

تركيز العنصر بالجـزء فى المليـون [N =٢٠٠، P =٩٤، K = ٣٣٠، Ca =٣٠٥، Mg= ٥٠]

التحضير :

الملح	الكمية بالجرام لكل ١٠٠ لتر
نترات الكالسيوم	١٣٥
كبريتات البوتاسيوم	٧٥
كبريتات الماغنسيوم	٥٥
سوبر فوسفات ثلاثى	٤٧
كبريتات الأمونيوم	١٩
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**٣٣١**

أ- المحلول المستخدم شتاء :

تركيز العنصر بالجـزء فى المليـون [N = ١٠٠، P =٩٥، K = ٣٨٠، Ca =٢٢٠، Mg= ٥٠]

التحضير :

الملح	الكمية بالجرام لكل ١٠٠ لتر
نترات الكالسيوم	٨٥
كبريتات البوتاسيوم	٨٨
كبريتات الماغنسيوم	٥٥
سوبر فوسفات ثلاثى	٤٧
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**٢٧٥**

مصـــــــر :

قام Sherif وآخرون سنة ١٩٩٢ بتجهيز المحلول المغذى من ستة أملاح بدلاً من أربعة، وهذه الأملاح عبارة عن الأسمدة التجارية المتوفرة فى السوق المصرى، وذلك لتوفير العناصر الكبرى، بالإضافة إلى الكيماويات المعملية النقية لتوفير العناصر الصغرى.

أولاً : العناصر الكبرى

الملح	الكمية بالجرام لكل ١٠٠ لتر
نترات الكالسيوم	٥٩
كبريتات البوتاسيوم	٦٠
كبريتات الكالسيوم	٢٠
كبريتات الماغنسيوم	٣٦
سوبر فوسفات ثلاثى	٤٠
يوريا	٣٠
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**٢٤٥**

ثانياً : العناصر الصغرى

الملح	الكمية بالمليجرام لكل ١٠٠ لتر
كبريتات الحديدوز	٦٠٠٠
كبريتات المنجنيز	٦٠٠
كبريتات النحاس	٤٠
كبريتات الزنك	٤٠
حامض البوريك	١٨٠
موليبيدات الامونيوم	٤٠
الوزن الكلى للأملاح المضافة	**٦٩٠٠**

ليعطى التركيزات التالية للعناصر الغذائية الضرورية اللازمة للنبات :

العنصر	ملليمول / لتر	ملليجرام / لتر	العنصر	ملليمول / لتر	ملليجرام / لتر
النيتروجين	١,٩	٢٠٨	الحديد	٠,٢١٨	١٢
الفوسفور	٢,٤	٧٥	المنجنيز	٠,٠٣٦	٢
الكبريت	٦,٦	٢١١	الزنك	٠,٠٠٢	٠,١
الكالسيوم	٤,٤	١٧٦	النحاس	٠,٠٠٢	٠,١
البوتاسيوم	٧,٥	٢٩٤	البورن	٠,٠٢٨	٠,٣
الماغنسيوم	٢	٥٠	الموليبدنم	٠,٠٠٢	٠,٢

وفى حالة الاحتياج إلى كميات كبيرة من المحلول المغذى فإنه يمكن تحضير محاليل مركزة Stock solutions من نفس الأسمدة وبنفس المعدلات السابقة تركيزاً وتخفيفاً .

١١ - بعض العوامل المؤثرة على تركيب المحلول المغذى :

هناك بعض العوامل التى تؤثر على تركيب المحلول المغذى أهمها :

أ - الظروف المناخية

تؤثر الظروف المناخية على نسبة عنصر البوتاسيوم : النيتروجين الواجب توافرها فى المحلول المغذى. ففى أيام الصيف الطويلة والمشمسة تحتاج النباتات إلى كمية أكبر من النيتروجين وكمية أقل من البوتاسيوم وذلك بالمقارنة بأيام الشتاء القصيرة والمعتمة. ولذلك فإنه من المعتاد أن تضاعف نسبة البوتاسيوم إلى النيتروجين فى فصل الشتاء.

ب - نوع النبات المنزرع

يتأثر اختيار المحلول المغذى بنوع النباتات المنزرعة من حيث هل هو من النباتات الورقية أم من النباتات المثمرة. فالنباتات الورقية (الخس - الكرنب) تستفيد أكثر من المحلول المحتوى على تركيز عال من النيتروجين مقارنة بمحصول آخر مثل الطماطم كأحد النباتات الثمرية.

جـ - نوع الأيونات المضافة

بالرغم من أن النبات يمتص النيتروجين على صورة كاتيون أمونيوم NH_4^+ وأنيون نترات NO_3^- بنفس الكفاءة، إلا أنه يفضل ألا تزيد نسبة الأمونيوم فى المحلول عن ٢٠٪ من الكمية الكلية للنيتروجين. وإضافة النيتروجين الأمونيومى على صورة كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ يساعد فى المحافظة على pH المحلول فى الجانب الحامضى، ويرجع ذلك إلى أن النبات يمتص أيون الأمونيوم بسرعة وسهولة أكثر من أيون الكبريتات. وبقاء هذا الشق الحامضى فى المحلول يعمل على عدم ارتفاع رقم الـ pH إلى جانب القلوى نتيجة امتصاص النبات لأيونات النترات والفوسفات.

د - سلوك الأيونات فى المحلول

حيث إن الفوسفور فى المحلول المغذى يوجد على شكل أيونات $H_2PO_4^-$ فإنه يعمل على ترسيب بعض الأيونات الأخرى وخاصة أيونات المغذيات الصغرى مما يقلل من صلاحيتها للنبات. لذلك فإنه يتم عن عمد جعل تركيز الفوسفور فى المحلول المغذى منخفضاً قدر الإمكان.

هـ - قدرة النبات على تحمل تركيزات مرتفعة نسبيًا من بعض العناصر

يلاحظ فى جميع أمثلة المحاليل السابقة أنه لم يذكر تركيز أحد العناصر الكبرى وهو الكبريت، ويرجع السبب فى ذلك إلى أن الكبريتات تدخل فى كثير من الأملاح الأخرى مما يجعل تركيز الكبريتات فى المحلول يتعدى حد الكفاية ويتجه نحو الزيادة، إلا أن النباتات لها القدرة على تحمل التركيزات العالية نسبيًا من الكبريتات.

و - حاجة النباتات إلى العناصر الصغرى بكميات ضئيلة

يجب أن يوضع فى الاعتبار أن المغذيات الصغرى سامة جداً للنبات إذا زاد تركيزها عن حد معين، ولهذا السبب فإن ضبط تركيزها فى المحلول المغذى يجب أن يولى عناية خاصة. ولذلك يفضل تحضير محلول مغذى مركز من العناصر الصغرى كما فى جدول (٩ - ٥) ويضاف منه ١ لتر لكل ١٠٠ لتر من المحلول المغذى المخفف.

ز - التوقيت الشتوى والصيفى واستخدام المحاليل

يستخدم محلول الشتاء فى الفترة من شهر سبتمبر إلى شهر إبريل تقريبًا، بينما محلول الصيف يستخدم فى الفترة من شهر مايو إلى شهر سبتمبر تقريبًا.

جدول (٩ - ٥): تحضير المحلول المركز للعناصر الصغري

الملح	وزن الملح بالجم/ ٢٥ لتر من المحلول المغذى	العنصر	التركيز بالـ ppm بعد التخفيف بنسبة ١ : ١٠٠
حديد مخلبى	٨٠	Fe	٤,٥
كبريتات منجنيز	١٠	Mn	١,٠
حامض البوريك	٤	B	٠,٣
كبريتات النحاس	٠,٨	Cu	٠,٠٨
كبريتات الزنك	٠,٨	Zn	٠,٠٧
موليبيدات الأمونيوم	٠,٢	Mo	٠,٠٤

١٢ - خطوات تحضير المحاليل المغذية من الأسمدة التجارية :

١ - يتم شراء الأسمدة أولاً والتى توفر فى مجموعها كل العناصر الغذائية الأساسية.

٢ - توزن الكمية المطلوبة من كل سماد، ثم يتم إذابة كل منها على حدة فى حجم كاف من الماء.

٣ - نظراً لتفاوت الأسمدة فى كمية الشوائب ودرجة النقاوة فتوقع وجود شوائب عالقة ورواسب مثلما يحدث فى حالة سوبر فوسفات الكالسيوم الثلاثى أو كبريتات الكالسيوم.

٤ - خذ الوقت الكافى فى عملية التقليب حتى التأكد من تمام الذوبان.

٥ - الأملاح التى سيتم خلطها معًا تخلط فى صورة محلول رائق خال من الرواسب، ولذلك يجب ترشيح المحلول الذائب (عند الخلط) من خلال قطعة من الشاش أو أى وسيلة أخرى والتخلص من الرواسب.

٦ - يجب الاحتياط من ألا يزيد الحجم النهائى للمحلول بعد الخلط عن الحجم المطلوب الذى تم على أساسه وزن كميات الأسمدة، بل يجب أن يكون فى حدود ٧٠ - ٩٠٪ من الحجم النهائى حتى تعطى الفرصة للتقليب وضبط الحجم بدقة.

ويجب الأخذ فى الاعتبار أن الأسمدة عبارة عن مركبات كيميائية، وبالتالى فإن كل نوع من أنواع الأسمدة يعطى سلوكًا مختلفًا عند خلطه مع الأنواع الأخرى، وعلى هذا الأساس تنقسم الأسمدة من حيث الخلط مع بعضها إلى :

أولاً : أسمدة يمكن خلطها لمدة طويلة وتشمل :

كلوريد البوتاسيوم Potassium chloride يمكن أن يخلط مع كربونات الكالسيوم Calcium carbonate (Lime) ، صخر الفوسفات Rock phosphate (Powdered) ، خبث المعادن Bagsic slag ، فوسفات الأمونيوم Ammonium phosphate ، سوبر الفوسفات الأحادى والثلاثى Superphophate, single and triple ، كبريتات الأمونيوم Ammonium sulphate، كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم Sulphate of potash and magnesia، كبريتات البوتاسيوم Potassium sulphate.

كبريتات البوتاسيوم Potassium Sulphate يمكن أن تخلط مع كربونات الكالسيوم Calcium caqrbonate (Lime) ، صخر الفوسفات (Powdered) Rock phosphate ، خبث المعادن Basic slag ، فوسفات الأمونيوم Ammonium phosphate ، سوبر الفوسفات الأحادى والثلاثى Superphosphate, single and triple ، كبريتات الأمونيوم Ammonium sulphate، كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم Sulphate of pot-ash and magnesia.

كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم Sulphate of potash and magnesia يمكن أن تخلط مع كربونات الكالسيوم (Calcium carbonate (Lime، صخر الفوسفات Rock phosphate (Powdered)، خبث المعادن Basic slag، فوسفات الأمونيوم Ammonium phosphate، سوبر الفوسفات الأحادى والثلاثى Superphophste, sin-gle and triple، كبريتات الأمونيوم Ammonium sulphate.

كبريتات الأمونيوم Ammonium Spulphate يمكن أن تخلط مع فوسفات الأمونيوم Ammonium phosphate ، سوبر الفوسفات الأحادى والثلاثى Superphosphate, single and triple ، نترات الكالسيوم والأمونيوم Calcium ammonium nitrate.

نترات الكالسيوم والأمونيوم Calcium ammonium nitrate يمكن أن تخلط مع كربونات الكالسيوم Calcium carbonate (Lime) ، صخر الفوسفات Rock phos-phate (Powdered) ، كبريتات الأمونيوم Ammonium sulphate.

سوبر الفوسفات الأحادى والثلاثى Superphosphate, single and triple يمكن أن يخلط مع فوسفات الأمونيوم Ammonium phosphate.

ثانيًا : أسمدة لا يتم خلطها إلا قبل الاستخدام بفترة قصيرة وتشمل :

سماد اليوريا Urea مع كل الأسمدة السابق ذكرها.

نترات الكالسيوم والأمونيوم Calcium ammonium nitrate مع كلوريد البوتاسيوم Potassium chloride ، كبريتات البوتاسيوم Potassium sulphate ، فوسفات الأمونيوم Ammoniun phosphate، سوبر الفوسفات الأحادى والثلاثى Superphos-phate, single and triple، كبريتات البوتاسيوم والماغنسيوم Sulphate of potash

.and magnesia

صخر الفوسفات Rock phosphate مع كبريتات الامونيوم Ammonium.

ثالثًا : أسمدة لا يمكن خلطها لأسباب كيميائية وتشمل :

كبريتات الأمونيوم Ammonium sulphate مع كربونات الكالسيوم Calcium car- bonate (Lime) ، خبث المعادن Basic slag.

فوسفات الأمونيوم Ammonium phosphate مع صخر الفوسفات Rock phos- phate (Powdered) ، خبث المعادن Basic slag ، كربونات الكالسيوم Calcium car- bonste (Lime).

سوبر الفوسفات الأحادى والثلاثى Superphosphate, single and triple مع صخر الفوسفات Rock phosphate (Powdered) ، خبث المعادن Basic slag ، كربونات الكالسيوم Calcium carbonate (Lime).

خبث المعادن Basic slag مع نترات الكالسيوم والامونيوم Calcium ammonium nitrate.

والشكل التالى يوضح ملخصًا لهذه العمليات ويعتبر دليلاً لخلط الأسمدة.

	كربونات الكالسيوم	صخر الفوسفات	الخبث القاعدى	فوسفات الأمونيوم	سوبر فوسفات الأحادى والثلاثى	اليوريا	نترات الكالسيوم والأمونيوم	كبريتات الأمونيوم	كبريتات البوتاسيوم والمغنسيوم	كبريتات البوتاسيوم	كلوريد البوتاسيوم
كلوريد البوتاسيوم	□	□	□	□	□	☒	☒	□	□	□	□
كبريتات البوتاسيوم	□	□	□	□	□	☒	☒	□	□	□	□
كبريتات البوتاسيوم والمغنسيوم	□	□	□	□	□	☒	☒	□	□	□	□
كبريتات الأمونيوم	■	☒	■	□	□	☒	□	□	□	□	□
نترات الكالسيوم والأمونيوم	□	□	■	☒	☒	☒	□	□	☒	☒	☒
اليوريا	☒	☒	☒	☒	☒	□	☒	☒	☒	☒	☒
سوبر فوسفات الأحادى والثلاثى	■	■	■	□	□	☒	☒	□	□	□	□
فوسفات الأمونيوم	■	■	■	□	□	☒	☒	□	□	□	□
الخبث القاعدى	□	□	□	■	■	☒	■	■	□	□	□
صخر الفوسفات	□	□	□	■	■	☒	□	☒	□	□	□
كربونات الكالسيوم	□	□	□	■	■	☒	□	■	□	□	□

□ أسمدة يمكن خلطها
☒ أسمدة يمكن خلطها قبل الاستخدام مباشرة
■ أسمدة لا يمكن خلطها

شكل (٩-١) : دليل خلط الأسمدة والذي يجب الرجوع إليه قبل الشروع فى تحضير المحاليل المغذية للإنتاج التجاري والزراعة المنزلية



الفصل العاشر

أمثلة لتغذية النباتات فى المزارع اللاأرضية

أولاً : مزارع المحاليل المغذية

Nutrient Solution Cultures

ثانياً : مزارع البيئات الصلبة

Solid Aggregates Cultures

ثالثاً : الزراعة فى بيئات الألياف

Fiber Cultures

أمثلة لتغذية النباتات فى المزارع اللاأرضية

أولاً : مزارع المحاليل المغذية Nutrient Solution Culturesinc

(Real Hydroponics)

مـزارع المحـاليل المغـذية Nutrient Solution Cultures هى أحـد أقـسـام الزراعـة اللاأرضـيـة أو الزراعـة بدون تربة Soilless Cultrure، وهذه المزارع تشـمـل كل أنواع المزارع التى تنمو فيها النباتات فى المحلول المغذى كبيئة أساسية للنمو، ولذلك فهى وحدها – دون سواها – هى التى يطلق عليها مزارع الهيدروبنكس Hydroponics .

وكما أشرنا سابقاً فإن مزارع المحاليل بصورتها الأولية قد ساهمت بشكل ملموس فى تطور علم تغذية النبات حيث مكنت من معرفة أهمية العناصر الغذائية الواحد منها تلو الآخر، حتى تم حصر عناصر التغذية الأساسية والتى بها تتم تغذية النبات فى التربة أو بعيداً عنها، كما تم بها أيضاً تسجيل الأعراض والظواهر المرضية المصاحبة لنقص أو زيادة تركيز هذه العناصر.

ومن الناحية التطبيقية أمكن استخدام أنظمة الزراعة فى المحاليل المغذية فى الزراعة وإنتاج المحاصيل على نطاق تجارى، فمنذ التجارب التى قام بها Gericke سنة ١٩٢٩ وImai سنة ١٩٨٦ على مـزارع المحـاليل السـاكنة Static Nutrient Solution ومـروراً بـCooper سنة ١٩٧٩ والزراعة فى أغشية المحاليل Nutrient Film Technique حتى Dreschel وآخرون سنة ١٩٨٩ والزراعة فى الأنابيب المثقبة Porous Tube لحساب وكالة الفضاء الأمريكية NASA، حيث تجارب الزراعة فى الفضاء Space Agriculture . والنتائج المتحصل عليها فى كل الأحوال مشجعة ومذهلة مما جعل أنظمة الزراعة فى المحاليل المغذية تدخل مجال الميكنة وتتبناها الشركات الزراعية وتوليها اهتماماً خاصاً للوصول بها إلى درجة من الانتشار والتطبيق حول العالم.

وتنمو النباتات بشكل جيد فى مزارع المحاليل المغذية طالما ظل المحلول المغذى متزناً، وتهويته جيدة والنباتات مثبتة بدعامات تتناسب مع حجمها وكمية المحصول الموجود

عليها، ومن هذه الأساسيات تطورت طرق التغذية بالمحاليل فى أنظمة جديدة ومبتكرة تستخدم تجارياً بالإضافة إلى تحقيق رغبات الهواة.

ومن أمثلة مزارع المحاليل المغذية:

١ - مزارع المحاليل المغذية الساكنة

Static Nutrient Solution Cultures (SNSC)

٢ - مزارع المحاليل المغذية المتدفقة

Flow Nutrient Solution Cultures (FNSC)

٣ - مزارع الأغشية المغذية

Nutrient Film Technique (NFT)

٤ - المزارع الهوائية

Aeroponic Cultures (AC)

١ - مزارع المحاليل الغذائية الساكنة

Static Nutrient Solution Cultures (SNSC)

مزارع المحاليل المغذية الساكنة يمكن أن تستخدم فى أى مكان وبأى أدوات لحفظ المحاليل، **وتتطلب مزارع المحاليل الساكنة (تمييزاً لها عن مزارع المحلول الدائر) ما يلى:**

الأوعية:

عادة تستخدم أحواض مستطيلة ذات سعات تتراوح ما بين ١٠٠ - ٢٠٠ لتر من المحلول، وغالباً يتراوح عمق الحوض ما بين ٢٠ - ٣٠ سم، وعرضه من ٦٠ - ٨٠ سم، وطوله من ١٥٠ - ٢٠٠ سم، ويراعى عند إضافة المحلول إلى الحوض أن لا يزيد ارتفاع المحلول عن نصف ارتفاع الحوض، ويوجد العديد من المواد التى يمكن أن تستخدم فى صناعة الأحواض، حيث يمكن استخدام أحواض من الخشب أو الأسمنت أو الحديد أو الصلب أو أى مادة معدنية أخرى غير مجلفنة (حيث يدخل عنصر الزنك فى عملية الجلفنة والذى قد يسبب سمية للنباتات إذا زاد تركيزه عن حد معين) أو يمكن استخدام

أحواض من البلاستيك، وفى جميع الأحوال فإن المادة المصنوع منها الحوض يجب أن تكون غير شفافة حتى لا ينفذ الضوء إلى المحلول، فيؤدى إلى نمو الفطريات، ويراعى أن يزود الحوض بفتحة جانبية للصرف قرب قاعدته لتسهيل تفريغ الحوض عند الحاجة إلى ذلك، ويتم طلاء الحوض من الداخل بطبقة رقيقة من البيتومين (الأسفلت) لتمنع رشح المحلول إلى الخارج إذا كان الحوض مسامياً، وأيضاً لمنع تفاعل المادة المصنوع منها الحوض مع المحلول المغذى.

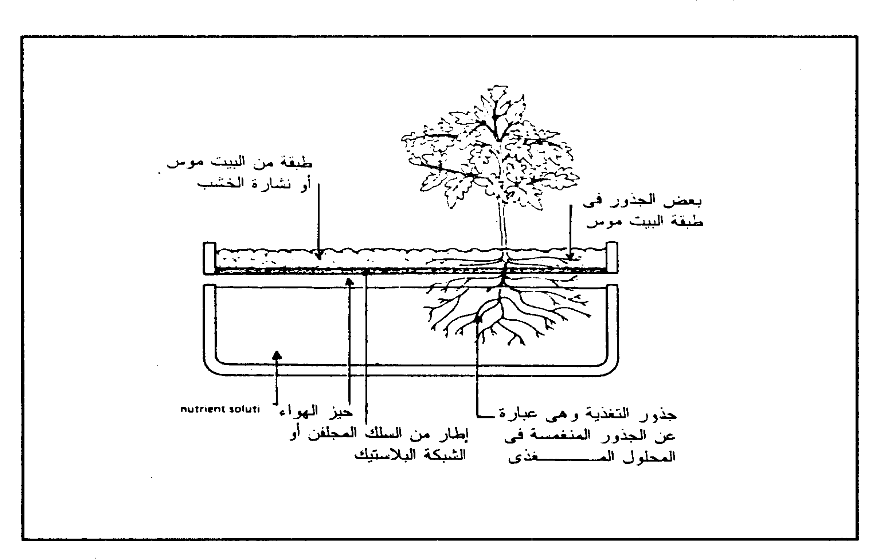
زراعة النباتات :

يوضع فوق حوض الزراعة صينية لها قاع عبارة عن شبكة من السلك وتكون أبعاد الصينية مقاربة لأبعاد الحوض فى العرض مما يسمح بارتكازها وثباتها على حافة الحوض، ويكون طولها فى نفس الوقت أقل قليلاً من طول الحوض بحوالى ١٠سم بما يسمح بقياس ارتفاع المحلول المغذى داخل الحوض وضبط رقم الحموضة وتعويض النقص من العناصر كل فترة، وغالباً ما يتراوح ارتفاع الصينية ما بين ١٠ – ٢٠ سم، يتم ملء الصينية بأى مادة عضوية مثل: القش أو البيت موس أو نشارة الخشب أو ما يشابهها وتعمل هذه الطبقة من المواد العضوية كدعامة للبادرات التى يتم زراعتها وتقلل من فقد المحلول بالبخر، هذا بالإضافة إلى أن هذه الطبقة توفر الإظلام اللازم للمحلول والذى يمنع نمو الفطريات.

والنباتات فى مزارع المحاليل المغذية كانت تزرع بذورها فى أول الأمر فى مهد مناسب أو مشتل بعيداً عن أحواض الزراعة، ثم تنقل البادرات إلى المحلول، ثم تطور الأمر وأصبح يتم إنبات البذور فى طاولات توضع بيئة النمو مثل: البيت موس **Peat moss** أو نشارة الخشب **Sawdust**، وتزرع بها البذور وتنمو من خلالها مباشرة إلى أحواض الزراعة المحتوية على المحلول المغذى، وحالياً أصبح إنبات البذور يتم فى مواد خاملة من مكعبات إنبات الصوف الصخرى أو الصوف الزجاجى كوسيلة جديدة تساعد على إعطاء بادرات قوية ومتجانسة قبل نقلها إلى أحواض الزراعة وتغذيتها بالمحلول المغذى، وذلك بعد تثبيتها فى فتحات مناسبة فى غطاء الحوض.

وفى حالة الزراعة المباشرة بالصوانى الموضوعة فوق أحواض المحاليل المغذية، تزرع بذور النباتات فى البيئة، وترطب بالماء حتى خروج البادرات التى ينتشر بعضاً من جذورها

الأولية فى البيئة (جذور تثبيت أولية)، ثم تتدلى باقى جذورها من خلال شبكة السلك مارة بحيز الهواء الذى تنتشر فيه بعض الجذور (جذور التهوية Air roots) حتى تصل إلى المحلول المغذى (جذور التغذية أو Solution roots)، بينما تمتد سوقها وما عليها من أوراق إلى أعلى، وهذا النموذج للزراعة فى المحاليل تماماً لما وصفه Gericke سنة ١٩٢٩ شكل (١٠ – ١).



شكل (١٠ – ١): نموذج لمزرعة محاليل مغذية ساكنة كما استخدمها Gericke

وقد تحتاج النباتات إلى تثبيتها بدعامات أو بخيوط من الدوبار أو البلاستيك تتدلى من سقف الصوبة أو من حامل أفقى مرتفع مواز لصفوف النباتات فى أحواض الزراعة.

حجم المحلول وطرق توفير الأكسجين به :

عادة ما يكون حجم المحلول المغذى فى حدود من ١٥ – ٢٠ لتراً للنبات الواحد فى حالة الطماطم مثلاً إلا أن ذلك الحجم قد يقل أو يزيد قليلاً فى محاصيل أخرى، وكلما كان حجم المحلول كافياً كلما قلل ذلك من حدوث أى تغييرات سريعة فى تركيزات

العناصر بالمحلول وبالتالى تجنب إجراء عملية ضبط المحلول على فترات متقاربة.

ونظراً لأن هذا المحلول يظل ساكناً طول الوقت فإن محتواه من الأكسجين الذائب يقل مع تقدم نمو النبات الأمر الذى ينعكس على كفاءة الجذور فى عملية امتصاص المحلول المغذى، وهذا بدوره يؤدى إلى ضعف النمو، ولذلك فمن الأهمية بمكان أن يتم عمل تهوية للمحلول المغذى، ويمكن تنفيذ عملية التهوية بثلاث طرق:

الطريقة الأولى: توصيل أحواض الزراعة بمضخات تدفع الهواء الذى يحتوى على الأكسجين إلى المحلول، وهذه المضخات مثل تلك التى تستخدم فى أحواض تربية أسماك الزينة، وفى حالة الزراعة على مساحات كبيرة يمكن استخدام الطريقة الأوتوماتيكية فى توصيل المحلول إلى أحواض الزراعة وذلك بأن يكون المحلول فى تنك كبير يوضع أعلى أحواض الزراعة بحوالى ١ متر، ومنه تخرج ماسورة أو خرطوم التوزيع الذى يتصل بأحواض الزراعة عند سطح المحلول بكل منها عن طريق صمام وعوامة تتيح تدفق المحلول عند استنزاف أى قدر منه، وتحافظ على ثبات سطح المحلول فى الحوض باستمرار، وفى هذا التنك يتم وضع المضخة الهوائية التى توفر الأكسجين به ومنه يصل إلى أحواض الزراعة.

الطريقة الثانية: ترك مسافة كافية بين سطح المحلول والسطح السفلى لصوانى الزراعة بما لا يقل عن ٥ – ٧ سم، حيث تستطيع جذور النباتات النامية فى هذا الحيز من امتصاص الأكسجين.

الطريقة الثالثة: عند تثبيت النباتات فى فتحات أغطية أحواض الزراعة توضع شبكة من البلاستيك مساحة ثقوبها حوالى ٠,٢٥ سم٢ بين الغطاء وسطح المحلول بحيث تكون المسافة بينه وبين سطح المحلول من ١ – ٥سم، وبينه وبين الغطاء حوالى ١٠سم مما يتيح الفرصة لأكبر حجم من الجذور بأن تنتشر فى هذا الحيز الهوائى أعلى شبكة البلاستيك للتبادل الغازى مع الأكسجين الموجود به، وتعد هذه أفضل الطرق لما تحققه من كفاءة عالية وبطريقة طبيعية لا تحتاج إلى مضخات هوائية أو مصدر تغذية كهربائية.

٢ - مزارع المحاليل المغذية المتدفقة

Flow Nutrient Solution Cultures (FNSC)

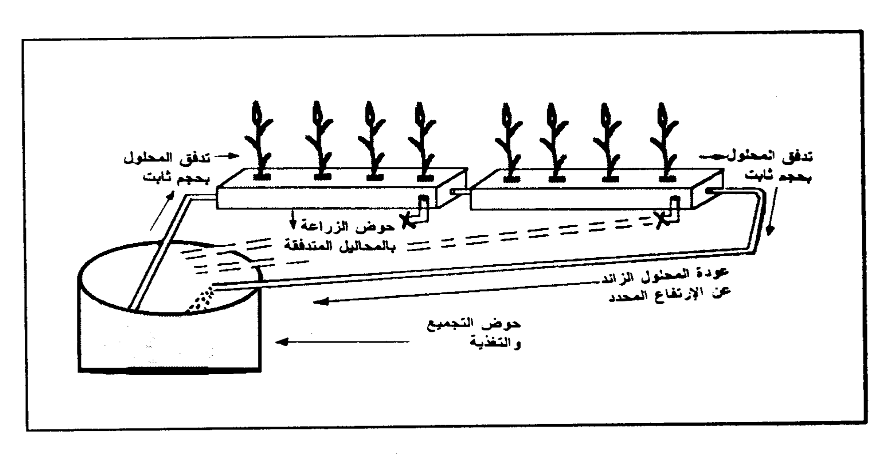
وفى هذا النظام يتم الاستعانة بمضخة مائية تعمل على تدفق ودوران المحلول المغذى فى القنوات والأوعية الحاوية له بارتفاع لا يغطى ولا يغمر كل المجموع الجذرى للنبات، وهذا الارتفاع تستطيع القنوات أن تحتفظ به عند توقف ضخ المحلول.

تنقل شتلات النباتات (فلفل - طماطم - خيار - خس - فراولة.. إلخ) إلى مكعبات من صوف الخبث Slagwool، أو الصوف الصخرى Rockwool بأحجام متوافقة تماماً مع فتحات البادرات الموجودة على سطح أغطية أحواض وقنوات الزراعة، وفى حالة عدم وجود صوف الخبث أو الصوف الصخرى فإنه يتم نقل الشتلات فى أكواب مثقبة قطرها ٢ - ٣ بوصة (٥ - ٧,٥ سم) وارتفاعها ٥ سم تحتوى على مادة البيت موس Peat moss، أو توليفة من الطين والرمل بنسبة ٣ : ١ أو نشارة الخشب، ترص شتلات النباتات على طاولات من البلاستيك أو الصاج المجلفن، وتروى بالماء أو المحلول المغذى المخفف بواسطة الرش على أن يظل الماء أو المحلول بهذه الطاولات بارتفاع ٠,٥ سم حتى لا تموت جذور النباتات التى تخرج من بيئة النمو، بعد ظهور جذور النباتات بشكل جيد تنقل مكعبات أو أكواب النمو وما بها من بادرات إلى أحواض وقنوات الزراعة.

يتم تجهيز قنوات الزراعة بعمل أحواض من الأسمنت أو البلاستيك أو الخشب مستوية القاعدة طولها حوالى ١٠ قدم (٣ متر) وبعرض من ٢٥ - ٣٠ بوصة (٦٠ - ٧٥سم) وارتفاع ١٠ - ١٢ بوصة (٢٥ - ٣٠سم) على ألا يزيد ارتفاع المحلول بها عن ٦ - ٨ بوصة (١٥ - ٢٠سم) عن طريق عمل فتحة فى نهاية حائط الحوض عند هذا الارتفاع مثبت بها أنبوبة من البلاستيك تنقل المحلول الزائد Over flow إلى حوض آخر، أو إلى تنك التجميع والتغذية ليظل الفراغ بين سطح المحلول وغطاء هذه الأحواض فى حدود ٤ بوصة (١٠سم) مما يمكن أن نطلق على هذا النظام « نظام المحاليل المتدفقة ذات الحجم الثابت » كما هو موضح فى شكل (١٠ - ٢).

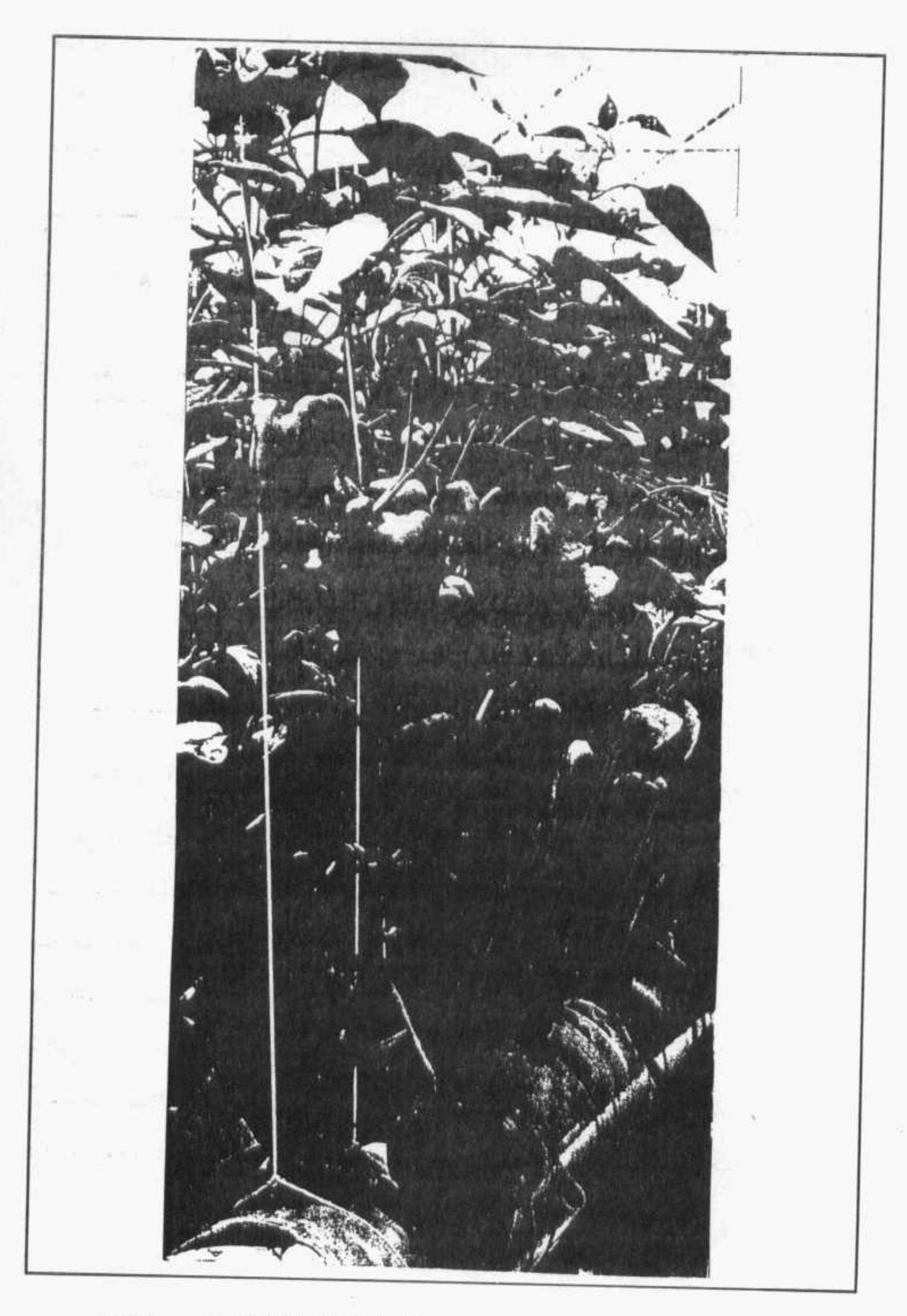
تغطى أحواض الزراعة بأغطية من الخشب أو البلاستيك أو الفوم Foam وبها فتحات البادرات على مسافات مناسبة لزراعة المحصول، يضخ المحلول من مقدمة الحوض وعند

امتلائه حتى الحد المحدد لارتفاع المحلول ينتقل إلى الأحواض التالية له فى الأنظمة متعددة الوحدات، ثم يعود إلى تنك التغذية ليتم ضخه مرة أخرى، وبعد التأكد من سلامة التجهيزات يتم نقل البادرات إلى مواضعها فى أغطية الأحواض.



شكل (١٠ – ٢): أحواض الزراعة بالمحاليل المغذية المتدفقة ذات الحجم الثابت

وفى هذا النظام أيضاً يمكن استخدام المواسير البلاستيك كأنابيب للزراعة والموجودة بأقطار مختلفة تتراوح من ٤ – ٦ بوصة (١٠ – ١٥سم) كأوعية للمحاليل، ويتم عمل فتحات بأقطار تتوافق تماماً مع قطر مكعبات وأكواب النمو على أن تكون هذه الفتحات فى صف واحد وعلى مسافات مناسبة لزراعة المحصول، وتتسع كل فتحة لبادرة واحدة شكل (١٠ – ٣)، يتم ضخ المحلول المغذى من أحد أطراف القنوات ويخرج المحلول الزائد من الطرف الآخر عند الارتفاع المحدد للمحلول والذى غالباً لا يتجاوز ثلث ارتفاع قناة الزراعة، يتم تجميع المحلول وإعادته إلى تنك التغذية ليعاد ضخه من جديد.



شكل (١٠ – ٣): أنابيب الزراعة بنظام المحاليل المتدفقة ذات الحجم الثابت

وتتميز طريقة المحاليل المغذية المتدفقة FNSC بما يلى:

١ – لا يحدث نقص فى احتياجات النباتات من الأكسيجين حيث يعمل تدفق المحلول ودورانه على تجديد النقص منه باستمرار.

٢ – فى حالة انقطاع التيار الكهربى المستخدم فى تشغيل المضخة فإنه لا يحدث أى ضرر للنباتات النامية لمدة يوم أو أكثر حسب عمر النباتات، وذلك لاحتفاظ قنوات الزراعة بقدر من المحلول يفى لهذا الغرض.

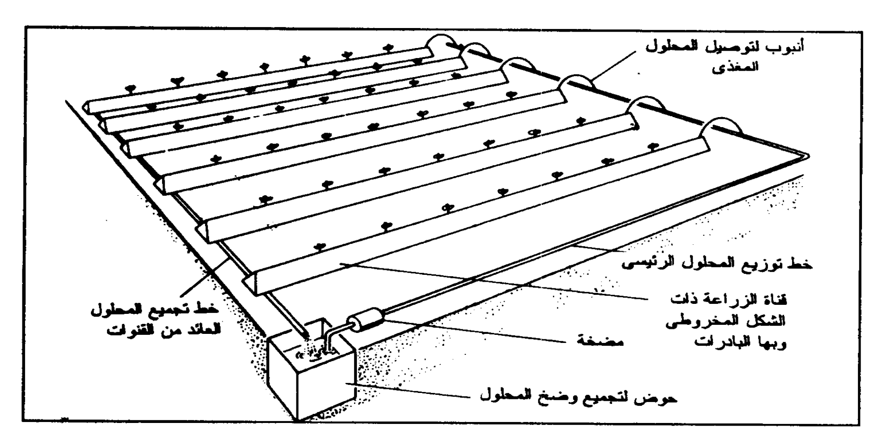
٣ – ضخ المحلول ودورانه فى هذا النظام فيه مرونة كبيرة، حيث يمكن ضخ المحلول أثناء النهار فقط أو لمدد محدودة متقطعة خلال النهار Intermittent flow.

وفى وجود تيار شبه منتظم من الكهرباء يمكن تقليل حجم المحلول المغذى المتدفق بحيث لا يتجاوز ٢ – ٣ سم، وفى هذه الحالة يتم وضع البادرات النامية فى مادة النمو من الصوف الصخرى أو صوف الخبث على قاعدة أحواض ومواسير الزراعة مباشرة، كما يمكن أيضًا ضخ المحلول على فترات متقطعة بمعدل ربع ساعة كل ساعة أثناء النهار، والتوقف التام فى النصف الأخير من الليل دون أى تأثير على النمو. والنظام فى هذه الصورة يقع بين نظام المحاليل المتدفقة ذات الحجم الثابت السابق بيانه وبين نظام الأغشية المغذية الذى سيأتى شرحه والذى يكون فيه ارتفاع المحلول لا يزيد عن بضعة ملليمترات.

والزراعة فى الأنابيب أو المواسير البلاستيك تتميز بسهولة الإعداد والتجهيز وتساعد على التكثيف الزراعى داخل الصوبة أو خارجها مما يعنى استغلالاً أمثل ومحصولاً أوفر من المساحات المتاحة.

٣ – مزارع الأغشية المغذية Nutrient Film Technique (NFT)

إحدى طرق الزراعة طرق الزراعة بالمحاليل المغذية الحديثة والمبتكرة عن طريق Allen Cooper فى إنجلترا خلال السبعينيات بهدف التغلب على مشكلتى الحاجة إلى دعامات للنباتات والتهوية، والتى تنشأ عند استخدام المحاليل المغذية الساكنة. وتنمو النباتات فى قنوات Channels or Gullies تأخذ شكلاً منحدراً يسمح بتدفق المحلول المغذى على هيئة غشاء رقيق Film بها، وهذا الغشاء الرقيق من المحلول يمد النباتات بكل ما تحتاج إليه من العناصر المغذية شكل (١٠ – ٤).



شكل (١٠ – ٤) : الشكل العام لقناة الزراعة والتغذية بنظام الأغشية المغذية

ومنذ المراحل الأولى لنمو النبات يظهر مجموع جذرى قوى مكونًا شبكة متداخلة أو حصيرة من الجذور Root mat الأمر الذى يعد دعامة جيدة فى مراحل النمو الأولى هذا من جهة، ومن جهة أخرى فإن مرور المحلول المغذى فى شكل غشاء لا يغمر كل هذا الحجم من الجذور، بل يلامس السطح السفلى لها فقط ويكون السطح العلوى مندى دائمًا بالماء، حيث يقوم بدور التهوية مما يمكن القول معه بأن الجزء السفلى من الجذور يعتبر جذوراً للتغذية Feeding roots والجزء العلوى جذوراً للتهوية Aeration roots .

الشروط الواجب توافرها فى نظام الأغشية المغذية :

هناك بعض الشروط الأساسية التى تحكم نجاح عملية الزراعة بنظام الأغشية المغذية نوجزها فيما يلى :

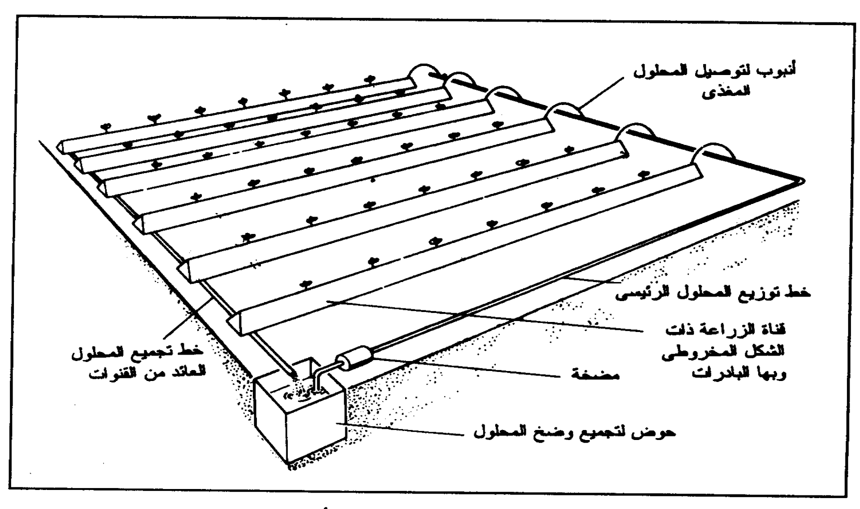
١ – يجب أن يكون انحدار القناة منتظمًا وبطريقة متجانسة مع عدم وجود أى حفر فى بعض المواقع على طول المجرى (حتى ولو لعدة ملليمترات طولية) .

٢ – ألا يكون دخول المحلول المغذى إلى القناة سريعاً جدًا لدرجة تؤدى إلى تدفق كمية كبيرة من المحصول خلال المنحدر .

٣ – أن يكون عرض القناة والتى تنمو فيها الجذور كافيًا لتجنب أى حجز أو إعاقة لحركة المحلول المغذى بواسطة طبقة الجذور المتكونة، حيث إن هذا العرض إذا لم يكن كافيًا فإنه يؤدى إلى نقص كبير فى المحصول.

٤ – يجب أن تكون قاعدة القناة مستوية وليست مقعرة، لأن القاعدة المقعرة تجعل عمق المحلول فى منتصف القناة كبيرًا.

لذلك فإنه لتنفيذ نظام الأغشية المغذية يلزم وجود سطح ناعم ذو ميل أو انحدار مناسب ويوضع على هذا السطح مجموعة من القنوات تنمى فيها النباتات متجاورة مع بعضها فى صفوف، وعند الحافة المرتفعة للسطح المائل توضع القناة الرئيسية التى يمر فيها المحلول المغذى، ويخرج من هذه القناة مجموعة من أنابيب التوزيع، تصب كل منها فى إحدى القنوات النامى فيها النباتات، حيث يتحرك المحلول المغذى بالانحدار حتى يصل إلى قناة تجميع عند الحافة المنخفضة للسطح المائل. وقناة التجميع هذه تصب فى النهاية فى خزان لجمع المحلول المغذى والذى يتم ضخه مرة أخرى ليعاد توزيعه على قنوات نمو النباتات وهكذا كما هو موضح فى شكل (١٠ – ٥).



شكل (١٠ – ٥) : التصميم العام لمزرعة الأغشية المغذية NET

وعمومًا فإن السطح المائل هذا إما أن يكون قطعة من الأرض تمت تسويتها وإعطاؤها الانحدار المناسب، وفى هذه الحالة فإن قناة التجميع تكون عبارة عن خندق موجود عند نهاية الجزء المنخفض من الأرض والذى يصب فى حوض أو ترانش Transh مجهز فى التربة، ومنه يتم ضخ المحلول مرة أخرى إلى قنوات التوزيع فى قمة الجزء المرتفع. أو أن وضع قنوات الزراعة على بنشات أو حوامل على أرض خرسانية تحقق شروط الميل وانسياب وتدفق المحلول وفى كل الأحوال، فإن قناة التوزيع تكون فى الجانب المرتفع وقناة التجميع وخزان المحلول فى الجانب المنخفض.

قنـــوات الزراعـة:

كما سبق الإشارة فإن النقاط الواجب مراعاتها عند تنفيذ نظام الأغشية المغذية هو عمل سطح مائل متماثل الانحدار بدون أى حفر أو انخفاضات، لأن ذلك يحدد بدرجة كبيرة نوع القنوات التى يمكن استخدامها. فالأرض العادية حتى ولو كانت مدكوكة جيداً فإنها لا توفر السطح المناسب لحمل القنوات، حيث إن تعرضها للمياه يؤدى بعد فترة إلى تعرج سطح الأرض وللتغلب على هذه المشكلة فإنه يوجد بديلان:

البديل الأول: هو تغطية مساحة سطح الأرض كاملاً بواسطة طبقة من الخرسانة (أو على الأقل صب الخرسانة على هيئة شرائط طولية فى المواقع التى سوف توضع عليها القنوات) وفى هذه الحالة يمكن أن يستخدم أى نوع من القنوات المصنوعة من مادة نصف صلبة رخيصة الثمن.

البديل الثانى: هو استخدام قنوات ذات قاع من مادة صلبة، وبالتالى يمكن وضعها على أى سطح تم تسويته بطريقة تقريبية حيث إن قاعدة القناة الصلبة سوف تقاوم أية تجاعيد قد تكون موجودة على سطح الأرض.

ومن هنا تأتى أهمية الاهتمام بتجهيز قنوات الزراعة ليتحقق شرط التغذية بغشاء رقيق من المحلول المغذى وشرط التهوية الجيدة.

واستخدام المواسير البلاستيك فى نظام الأغشية المغذية أعطى نتائج طيبة بشرط أن يكون سمك الغشاء المغذى لا يزيد عن بضعة ملليمترات فى كل الأحوال، وفى هذه

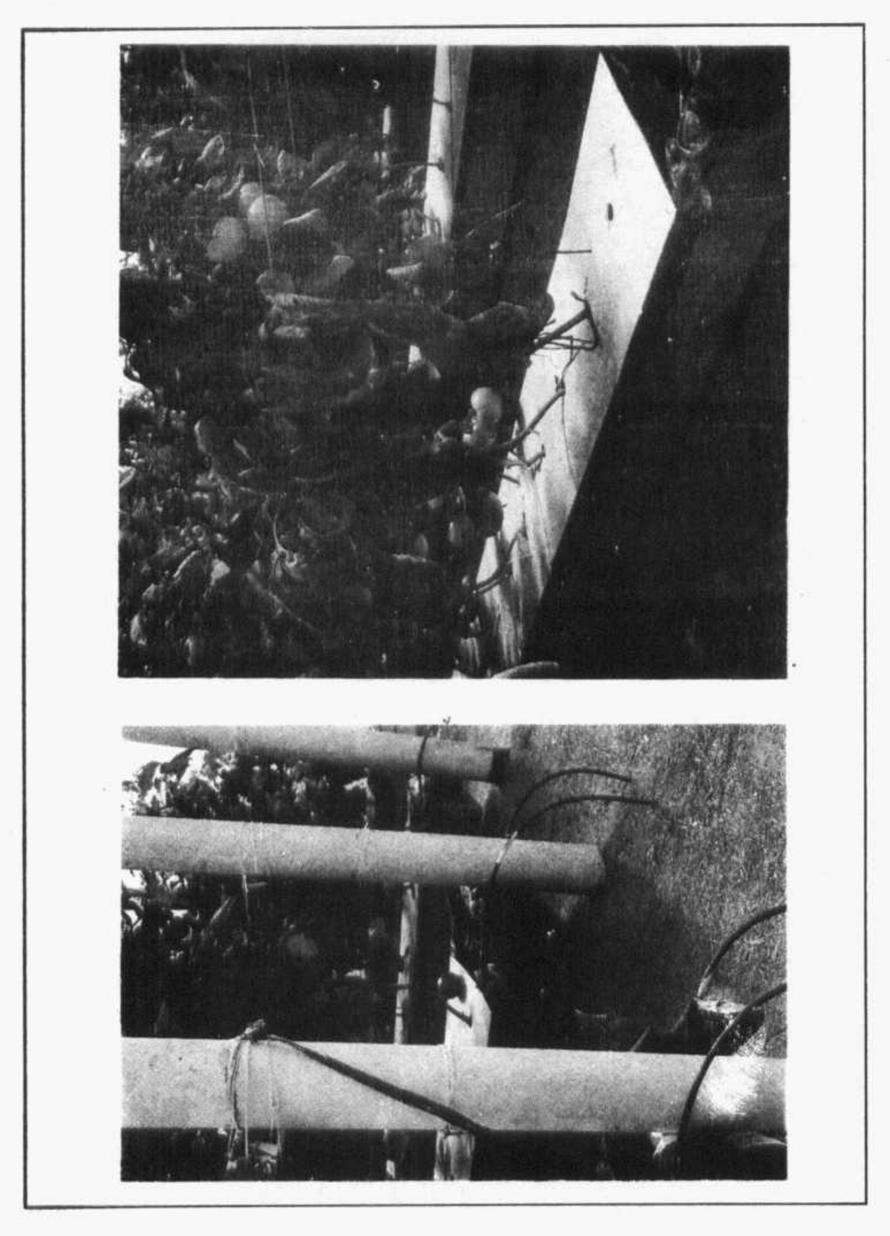
الحالة توضع القنوات بميل مناسب يساعد على سرعة انسياب المحلول، وعدم ارتفاعه فوق سطح الجذور نتيجة تقعر سطح المواسير. كما أنه يمكن استخدام الأحواض المصنعة من البلاستيك لهذا الغرض وفى حالة عدم تواجد أحواض مناسبة من البلاستيك يتم تصنيع الأحواض من الخشب وتبطينها بشرائح من البلاستيك أو طلائها بالبيتومين (شكل ١٠-٦). وهذه الوسائل سهلة الإعداد والتجهيز، من شأنها زيادة الطلب على استخدام طريقة الأغشية المغذية.

ومن الضرورى فى نظام الأغشية أن نتأكد من أن سمك غشاء المحلول المغذى لا يزيد فى أقصى حالاته عن بضعة ملليمترات، وبذلك يكون معظم جذور النبات النامى فى القناة فوق سطح المحلول.

وبالرغم من أن تصميم مزارع الأغشية المغذية مبنى على الدوران المستمر للمحلول المغذى بمعدل التدفق السابق الإشارة إليه، إلا أن الدراسات حول إمكانية أن يكون تدفق المحلول على فترات متقاربة أثناء النهار ومتباعدة أثناء الليل أخذ أهمية خاصة لما ينطوى عليه من توفير للطاقة الكهربائية اللازمة لهذه العملية. والدراسات على هذا الموضوع لم تأت بإمكانية حدوث ذلك فقط، بل إن **Charbonneau** وآخرون سنة ١٩٨٨ أشاروا إلى أن ضخ المحلول على فترات **Intermittent** متعاقبة بمعدل ١٥ دقيقة فى الساعة (١٥ دقيقة تدفق للمحلول يعقبها توقف التدفق لمدة ٤٥ دقيقة) يؤدى إلى زيادة فى المحصول قدرها ١٩٪.

طرق تدعيم النبات فى القناة

عند استخدام قنوات مرتفعة الأجناب قد نواجه مشكلة عندما يكون هذا الارتفاع أكبر من طول البادرة أسفل الورقة الأولى. وسبب المشكلة يرجع إلى أنه لكى تكون الورقة الأولى فى الضوء فإن طول الجذر يكون أقصر من أن يصل إلى الغشاء المغذى الموجود فى قاع القناة. ويمكن التغلب على ذلك إذا نميت البادرات فى مكعب صغير من مادة تمتص المحلول، وبالتالى فإنه عند وضع هذا المكعب فى القناة فإنه يزيد من ارتفاع سيقان البادرات وظهور أوراقها فى الضوء أعلى قمة القناة فى الوقت الذى يوفر فيه المكعب الماص المحلول المغذى لتغذية جذور البادرات التى بداخله والتى تضمن استمرار



شكل (١٠ – ٦): قناة من الخشب مبطنة بشرائح البلاستيك للاستخدام في الزراعة بنظام الأغشية المغذية

نموه. وبنمو النبات فإن الجذور تصل إلى المحلول فى قاع القناة وتنعدم أهمية مكعبات الإنبات والتى ينحصر دورها فى المراحل الأولى للنمو فقط. ويوجد العديد من المواد المناسبة لعمل مثل هذه المكعبات الماصة للمحلول منها الصوف الصخرى Rockwool، والبيت موس Peat moss، والفيرميكيوليت Vermiclit، وخليط من الفيرميكيوليت والبيت موس.

ويمكن أيضًا فى حالة قنوات البوليثين (وفى المراحل الأولى للنمو) خفض سلك التدعيم السفلى، والذى يثبت عليه جانبى البوليثين محددًا قمة الشكل الهرمى للقناة مما يقلل من ارتفاع قمة القناة فيساعد ذلك على أن تظهر قمة النباتات أعلى قمة القناة وجذورها ملامسة للمحلول على قاعدتها.

حدود السمية والنقص لتركيزات العناصر المغذية فى محاليل الأغشية المغذية:

تتحمل النباتات النامية فى مزارع الأغشية المغذية مدى واسع من تركيزات العناصر المغذية المختلفة دون أن يؤثر ذلك على نموها بشكل كبير. ويرجع ذلك إلى تدفق المحلول المغذى باستمرار على شكل غشاء رقيق وعدم وجود بيئة صلبة تنمو فيها الجذور، والتى قد تؤثر على صلاحية العناصر للتغذية. ولذلك فحدود السمية والنقص فى هذا النوع من المزارع يختلف عنه فى حالة المحاليل الساكنة أو الأرض العادية.

ولقد بينت التجارب أن اختلاف تركيز النيتروجين فى المحلول المغذى الدائر ما بين ١٠ – ٣٢٠ جزءًا فى المليون (لفترات ليست طويلة) كان ذا أثر قليل على محصول نباتات الطماطم أو كمية النيتروجين الممتص بواسطة النبات. ونفس الحال بالنسبة لتغير تركيز الفوسفور ما بين ٥ – ٢٠٠ جزء فى المليون أو البوتاسيوم فيما بين تركيزات ٢٠ – ٣٧٥ جزءًا فى المليون. وبالرغم من ذلك لا ينصح باستخدم تركيزات منخفضة من المغذيات المختلفة، لأن استخدام التركيز المرتفع نسبيًا من العنصر يوفر احتياطى منه فى المحلول فلا ينخفض تركيزه بسرعة نتيجة لامتصاصه بواسطة النبات، وبالتالى تقل الحاجة إلى إعادة ضبط تركيز المحلول على فترات متقاربة.

دوران المحلول المغذى وضبطه واستبداله:

يتم ضخ المحلول المغذى من الأوعية المحتوية عليه إلى ماسورة التوزيع ومنها ينساب

المحلول إلى قنوات نمو النباتات حيث يصل إلى ماسورة التجميع، فخزان المحلول ومن هذا الخزان يعاد ضخه بواسطة مضخات مائية مرة أخرى إلى القناة وهكذا. أى أن المحلول فى حالة دوران مستمر، ولذلك يجب العمل على استمرار هذا الدوران وإزالة أى عطل يوقف من استمراره.

ومن الجدير بالذكر أن توقف دوران المحلول لفترة زمنية يضر بنمو النباتات النامية فى هذه القنوات، ولو أن النبات يمكنه تحمل توقف دوران المحلول لفترة زمنية بسيطة نظراً لوجود بعضاً من المحلول محتجزاً فى حصيرة الجذور. والفترة الزمنية التى يتحمل فيها النبات توقف دوران المحلول تختلف من نبات إلى آخر، وذلك حسب نوع النبات ومرحلة نموه، وكذلك حسب العوامل المناخية السائدة. وعادة ما تتراوح هذه الفترة ما بين ساعة واحدة و٤٨ ساعة.

وكما سبق ذكره فإن امتصاص النبات للعناصر باستمرار من المحلول يؤدى إلى تغير pH المحلول وتركيز العناصر به، ولذلك يجب ضبط pH المحلول باستمرار فى حدود ٦ – ٦,٥ درجة باستخدام حامض النيتريك ١٠٪ أو حامض الفوسفوريك ١٠٪ (فى حالة ما إذا أريد تعويض بعض النقص فى عنصر النيتروجين أو الفوسفور على الترتيب).

أما بالنسبة لتركيز العناصر فإنه يتم قياس درجة التوصيل الكهربى للمحلول المغذى على فترات، وعند ملاحظة انخفاض التوصيل الكهربى للمحلول الدائر إلى ٢ ملليموز / سم فإنه باستخدام محلول Cooper يمكن إضافة حجم قدره ١,٥ لتر من محلول (A) و١,٥ لتر من محلول (B) المركزين إلى كل ١٠٠٠ لتر من المحلول الدائر لرفع التوصيل الكهربى إلى قيمته الأصلية فى حدود ٣ ملليموز / سم. وفى حالة تحضير المحاليل المغذية من الأسمدة التجارية يتم حساب الكمية المطلوب إضافتها إلى المحلول كما سبق شرحه فى الفصل التاسع.

بالإضافة إلى ما سبق فإن النبات يمتص كميات كبيرة من الماء من المحلول المغذى، حيث تفقد عن طريق النتح وهذا الماء المفقود يتم تعويضه عن طريق إضافة الماء إلى المحلول المغذى الدائر، ويمكن أن يتم ذلك يدويًا أو أوتوماتيكيًا بتوصيل خزان المحلول بخزان جانبى للماء فى مستوى أعلى منه عن طريق خرطوم من البلاستيك مثبت قرب قاع خزان الماء، وعند المستوى المراد ثبات المحلول عنده بخزان المحلول تثبت عوامة لتحافظ

على ثبات ارتفاع حجم المحلول فى خزان المحلول المغذى. ونظراً لأن الماء المضاف يحتوى على أملاح ذائبة فإن استمرار إضافة الماء إلى المحلول المغذى لتعويض الماء المفقود بالنتح يؤدى إلى تراكم هذه الأملاح فى المحلول وذلك فى حالة ما إذا كان معدل إضافتها إلى المحلول أكثر من معدل امتصاصها بواسطة النبات، ومثال ذلك: أيونات الصوديوم والكلوريد، وبالتالى فإنه بمضى الوقت قد يزداد تركيز أحد هذه الأيونات إلى الدرجة التى تسبب سمية بهذا الأيون للنبات النامى. ولهذا السبب ينصح بتغيير المحلول المغذى الدائر على فترات زمنية. والفترة الزمنية التى يتم فيها تغيير المحلول المغذى الدائر يمكن تقديرها عن طريق:

أ - تحليل المحلول المغذى وتقدير تركيزات العناصر فى المحلول معمليًا على فترات أسبوعية وخاصة عناصر N, Cu, Mo. Zn, Na, Cl and SO_4 بواسطة أحد أجهزة Flame photometer والـ Spectophotometer، ومن هذه التقديرات يمكن معرفة أى من هذه الأيونات سوف يزداد تركيزه بمضى الوقت.

ب - ملاحظة نمو النباتات وتدوين الإجابة على بعض الأسئلة التى تعطى مؤشراً على حدوث أى تغير فى طبيعة النمو. مثال ذلك: ملاحظة هل قل معدل النمو؟ وهل تغير اللون الأخضر للأوراق إلى اللون الأخضر المزرق؟ وهل أصبحت الأوراق الجديدة أصغر فى الحجم من المعتاد؟ وهكذا.

ومن تغيرات نمو النبات ومقارنتها بتركيزات العناصر يمكن معرفة الأيون المشتبه فيه والذى أصبح تركيزه عاليًا. وعند هذه النقطة يجب تغيير المحلول الدائر كلية وملء النظام بمحلول حديث التحضير. فإذا افترضنا أن هذه الحالة قد حدثت بعد ١١ أسبوعاً من استمرار دوران المحلول، فإنه يعاد تفريغ النظام وإعادة ملئه بالمحلول الجديد، ثم يستمر ملاحظة نمو النبات وتحليل المحلول لمدة ١٠ أسابيع تالية لمعرفة هل بدأ تأثر النمو مرة أخرى، فإذا حدث ذلك فعلاً بعد هذه المدة كان ذلك مؤشراً على ضرورة تغيير المحلول المغذى كل ١٠ أسابيع وهكذا.

ولكن يجب أن يراعى أن تغير معدل نمو النبات وتغير الظروف المناخية يؤثر على معدل النتح، وبالتالى يؤثر على الفترة الزمنية اللازمة قبل استبدال المحلول.

خطوات الزراعة بطريقة الأغشية المغذية:

مما سبق بيانه من شرح وتوضيح لأهم النقاط الواجب مراعاتها عند إعداد وتجهيز مزرعة أغشية مغذية فإنه يمكن إيجاز الخطوات التنفيذية لواحدة من هذه المزارع فيما يلي:

١ - يتم إنبات البذور فى البيت موس ثم تنقل إلى مكعبات الإنبات المصنعة من الصوف الصخرى أو يتم إنباتها مباشرة فى هذه المكعبات.

٢ - توضع مكعبات الإنبات على طاولات من البلاستيك وترش بالماء تارة وبالمحلول المغذى المخفف تارة أخرى حتى تخرج جذور البادرات من المكعبات ويراعى أن تظل طاولات البلاستيك محتوية على ماء أو محلول لارتفاع لا يقل عن ١ سم حتى لا تذبل جذور البادرات أو تموت.

٣ - تنقل البادرات النامية فى مكعبات الإنبات إلى أى من قنوات الزراعة المجهزة فيما سبق.

٤ - يتم ضم طرفى غشاء البلاستيك على طول امتداد القناة لتكون جذور النباتات على قاعدتها ويظهر مجموعها الخضرى أعلى قمة الشكل الهرمى الذى تكونه مع تثبيت ذلك بكلبسات أو بمشابك من الخشب أو البلاستيك.

٥ - يتم ضخ المحلول المغذى من تنك التغذية (الموجود فى الجانب المنخفض لقنوات الزراعة) إلى قنوات التغذية والتى تصب فى أعلى قمة هذه القنوات ليعود المحلول من خلال ميل القنوات وبتأثير الجاذبية الأرضية إلى تنك التغذية مرة أخرى.

٦ - يكون معدل ضخ المحلول ٢ لتر فى الدقيقة.

٧ - تثبيت النباتات التى تنمو رأسيًا بربطها برفق بخيوط سميكة تمتد من أسفل أول ورقة على النبات إلى أعلى بسلك التثبيت الموازى لطول القناة.

٨ - تتم متابعة النمو وأخذ عينات من المحلول المغذى وضبط رقم الـ pH الخاصة به إلى حده الأمثل وهو ٦,٥ درجة، وتعويض النقص فى مستوى العناصر فى المحلول

بإضافة أملاح هذه العناصر أو إضافة القدر المناسب من المحلول الأساسى Stock Solution إلى محلول التغذية، وذلك حتى نهاية المحصول.

والزراعة بهذا النظام تعطى نمواً جيداً لكل المحاصيل التى يمكن زراعتها به، وبصفة خاصة محاصيل الخضر ونباتات الزينة. هذا بالإضافة إلى أن هناك من النتائج ما يؤكد إمكانية الزراعة بنظام الأغشية المغذية تحت الظروف الجوية المختلفة فى مصر سواء كان ذلك داخل ظروف الصوبة أو خارجها فى الحقل المفتوح. وربما يكون هناك ضرورة فى الجو شديد الحرارة إلى عمل بعض التظليل للقنوات عندما تكون النباتات المنزرعة حساسة أو مقاومتها قليلة لارتفاع درجة حرارة المحلول المغذى إلى درجات عالية.

تتبقى مشكلة أخرى أساسية تواجه القائمين على تنفيذ مزارع الأغشية المغذية تحت ظروف انقطاع التيار الكهربائى لفترات طويلة أثناء النهار خاصة وأن النظام يعتمد على الدوران المستمر لغشاء رقيق من المحلول المغذى ومن ثم يصبح الضرر كبيراً عند انقطاع التيار الكهربائى. ولتجنب هذا الضرر وتقليل أثره يمكن عمل الآتى:

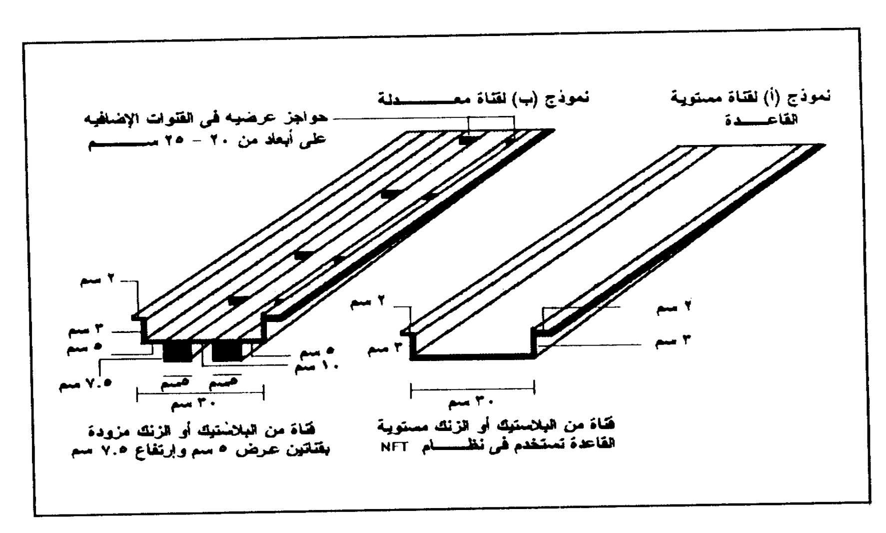
١ - توفير مصدر آخر للتيار سواء كان ذلك مصدر تغذية آخر أو ماكينات توليد التيار الكهربائى والتى تعمل بالديزل عند انقطاع التيار.

٢ - استخدام وحدات الطاقة الشمسية التى تعمل على توليد وتخزين الطاقة، وهذه الطريقة إن وجدت تعتبر من أنسب وسائل توفير الطاقة لمثل هذا النوع من المزارع.

٣ - تحوير شكل القنوات ليحتفظ فى بعض أجزائه بقدر من المحلول يساعد النباتات لبعض الوقت على النمو بدون مشاكل حتى يتم تشغيل الماكينات البديلة أو عودة التيار.

ولقد قام Sherif سنة ١٩٩٤ بتصميم نموذج لهذه القنوات، والتى تتكون كل قناة منها من قناتين إضافيتين بطول القناة الأصلية وبعرض ٥ سم وعمق ٧,٥ سم عن السطح المستوى للقناة (شكل ١٠ - ٧). وبداخل هاتين القناتين يتم عمل حواجز عرضية كل ٢٠ - ٢٥ سم، والتى بها نضمن وجود المحلول على طول امتداد القناة عند وضعها بشكل مائل أثناء الزراعة وإمرار المحلول. وعند دوران المحلول فإن هذه القنوات سوف

تمتلىء بالمحلول المغذى الذى يحدث له إزاحة جزئية بواسطة جزء من جذور النباتات النامية فى القناة، بينما تنتشر باقى جذور النباتات على باقى السطح المستوى للقناة. والمحلول المغذى فى كل الأحوال يمر فى شكل غشاء رقيق على ثلثى عرض القناة وتقريبا على ثلثى حجم الجذور (حيث إن عرض القناتين الإضافيتين لا يمثل سوى ثلث عرض القناة) بما يجعل هذه القناة ضمن تحويرات نظام الأغشية المغذية.



شكل (١٠ – ٧): تحوير قناة الأغشية المغذية لتقليل خطر انقطاع التيار الكهربي

٤ – المزارع الهوائية Aeroponic Cultures

المزارع الهوائية هى أحد صور الزراعة بالمحاليل المغذية. حيث تنمو جذور النباتات فى الهواء المشبع برذاذ Mist من المحلول المغذى بنسبة ١٠٠٪ والذى يفى بكل احتياجات النبات من الماء والعناصر الغذائية بالإضافة إلى الأكسيجين. ويتم تنفيذ هذه المزارع بطريقتين:

الأولى: باستخدام هياكل جمالونية على أحواض:

وفى هذه الطريقة تتبع الخطوات التالية:

١ – يستخدم هيكل من الفوم أو البلاستيك على شكل جمالون قاعدته مستطيلة أو مربعة بأبعاد حوض المحلول المغذى الذى سيثبت فوقه، وارتفاعه من ١ – ١,٥ متر (شكل ١٠ – ٨ أ).

٢ – يتم عمل فتحات من الجهات الأربع للجمالون بحجم يتناسب مع حجم البادرة المراد تثبيتها سواء كانت البادرة عارية الجذور أو فى أشكال اسطوانية من الصوف الصخرى أو فى أكواب خاصة مفرغة الجوانب بها الصوف الصخرى كمواد إنبات.

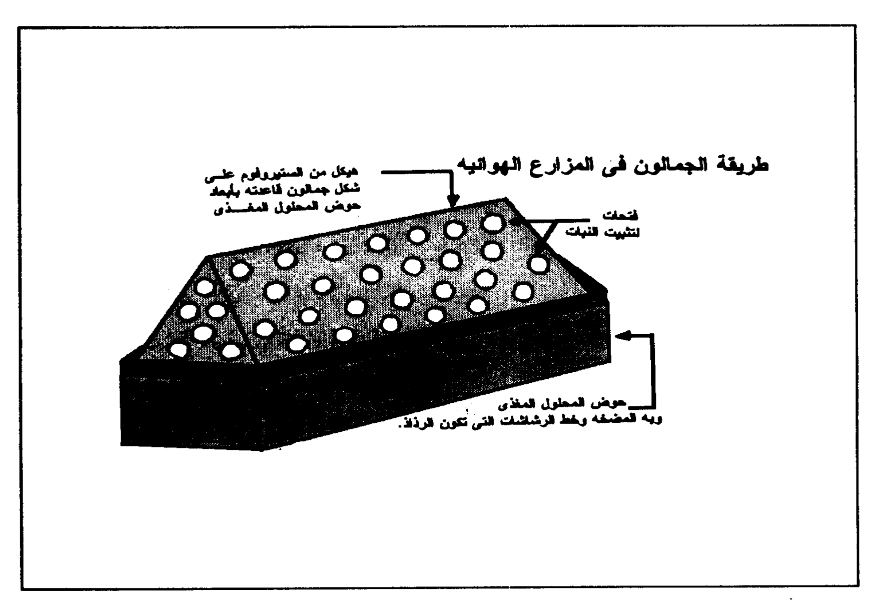
٣ – عن طريق مضخة مائية مثبتة فى حوض المحلول ويتصل بها ماسورة بطوله بها فتحات يضخ من خلالها المحلول فى شكل نافورة من الرذاذ أسفل الجمالون.

٤ – يتم ضبط رقم الـ pH وتركيز العناصر فى المحلول بشمل دورى.

الثانية: باستخدام الأنابيب والاسطوانات البلاستيك:

يستخدم فى ذلك أى أنابيب أو مواسير أو اسطوانات بلاستيك بأى أقطار حيث إن اتساع القطر يزيد من عدد النباتات التي تثبت على سطحها الخارجى ويجب ألا يزيد طولها عن ١,٥ متر لسهولة عمليات الزراعة والخدمة، بالإضافة إلى تثبيتها. وتتلخص خطوات الإعداد والزراعة بهذه الطريقة فيما يلى :

١ – يتم تقطيع الأسطوانات البلاستيك بطول ١,٥ متر وعمل الفتحات اللازمة لتثبيت النباتات بها على أن تكون هذه الفتحات مع بعضها شكلاً حلزونياً يتناسب ميله مع حجم النباتات المراد زراعتها كما فى شكل (١٠ –٨ب).



شكل (١٠ – ٨ أ) : المزارع الهوائية بطريقة الجمالون

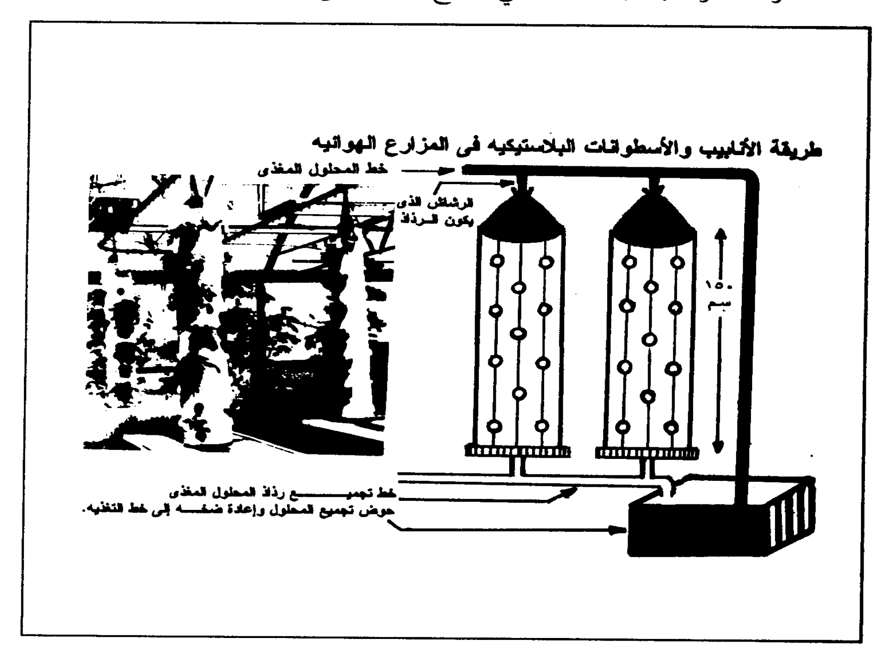
٢ – يتم غلق فتحتي الاسطوانة السفلية والعلوية بإحكام مع وجود فتحة فى **الغطاء** العلوي لأنبوبة توزيع المحلول وأخري فى الغطاء السفلى لجمع المحلول **الزائد (فى** حالة الأسطوانات المعلقة) .

٣ – يتم تثبيت الأسطوانات بطريقتين :

* إما أن تعلق بواسطة خطاف فى سقف الصوبة على مسافات تتيح حرية **الحركة** بينها .

* أو تثبت رأسياً علي سطح التربة بنفس المسافات . وفى هذه الحالة **تكون فتحة** خروج المحلول أعلى سطح الأرض مباشرة والتي تتصل بماسورة تجميع **المحلول الزائد** والتي بدورها تصب فى تنك التغذية .

٤ – يتم ضخ المحلول من تنك التغذية إلى أنابيب التوزيع والتي يخرج منها وصلة لكل أسطوانة تكون نهايتها ضيقة حتي يخرج المحلول على هيئة رذاذ.



شكل (١٠–٨ب) : المزارع الهوائية بطريقة الأسطوانات الرأسية

٥ – يتم ضبط رقم الـ pH وتركيزات العناصر من خلال عينات من تنك التغذية.

وبالرغم من عدم شيوع هذه الطريقة فى الاستخدام التجاري إلا أنها تعطى نتائج مرضية مع كثير من النباتات وخاصة القصيرة منها مثل: الخس والفلفل والفراولة، بالإضافة إلى أنها من أفضل الطرق للاستغلال الأمثل للمساحات المتاحة للزراعة، فالتوسع الرأسى فيها هو الأساس وعدد النباتات التي يتم الحصول عليها من وحدة المساحة يفوق أضعاف ما يتم الحصول عليه من أى طريقة أخري مما يؤدى إلى زيادة المحصول بشكل واضح.

ثانياً : مزارع البيئات الصلبة Solid Aggregates Cultures

البيئات التي تستخدم كوسط للنمو فى المزارع اللاأرضية مختلفة ومتعددة منها بيئات طبيعية شائعة الاستخدام مثل: الحصى Gravel والرمل Sand وغيرهما، وبيئات مصنعة مثل: الفيرميكيوليت Vermiculite والبرليت Perlite ، وهذه البيئات تقوم ببعض ما تقوم به الأرض الطبيعية للنبات من حيث كونها وسط لنمو الجذور ودعامة لتثبيت النباتات. وهي في ذلك تختلف عن مزارع المحاليل والتي تكون فيها جذور النبات منغمسة أو معلقة طوال الوقت فى المحلول، ولكنها تتشابه مع مزارع المحاليل فى مصدر تغذية النباتات والذي يتم فى كلتا الحالتين بواسطة المحلول المغذى.

مميزات مزارع البيئات الصلبة:

١ - وجود بيئة صلبة تعمل على تثبيت النباتات كما هو الحال في الزراعة في الأرض الطبيعية.

٢ - عدم الحاجة إلي تهوية المزرعة كما هو الحال فى مزارع المحاليل.

٣ - لا تحتاج إلى ملاحظة مستمرة كما فى حالة مزارع المحاليل.

العيوب :

١ - ارتفاع التكلفة الإنشائية بالمقارنة بمزارع المحاليل.

٢ - الحاجة إلى تعقيم الوسط من فترة إلى أخرى.

٣ - صعوبة التخلص من جذور النباتات بعد الحصاد، مما يؤدى إلى تراكمها فى البيئة وقد يسبب انسداد أنابيب الصرف.

الشروط الواجب توافرها فى مادة بيئة النمو الصلبة :

أولاً : القدرة على حفظ وصرف الماء

يتوقف قدرة البيئة على حفظ وصرف الماء على حجم الحبيبات وشكلها ومساميتها،

حيث إن الماء يمسك على سطوح الحبيبات وفى المسام ما بين الحبيبات. وكلما صغر حجم الحبيبات كلما ازدادت مساحة سطوحها وقربت الحبيبات من بعضها وازدادت المسافات البينية فى البيئة، وبالتالى تزداد قدرتها على مسك الماء.

كما أن الحبيبات غير المنتظمة فى الشكل لها مساحة سطوح أكبر، وبالتالى قدرة أعلى على حفظ الماء عن الحبيبات الملساء والمستديرة، هذا بالإضافة إلى أن المواد المسامية يمكنها حفظ الماء بداخل مسامها إلى جانب ما تحتفظ به فى المسافات البينية، وهذا يزيد من كمية الماء الذى تحتفظ به البيئة.

وفى الوقت الذى يجب أن تكون فيه للبيئة قدرة كبيرة على الاحتفاظ بالماء فإنها أيضاً يجب أن تكون لها قدرة أكبر على صرف هذا الماء لضمان جودة التهوية فى البيئة، ولذلك يجب تحاشى أن تكون حبيبات البيئة ناعمة جداً فتحتفظ بكمية كبيرة من الماء ويقل معه معدل صرفه للمحلول، مما يؤدى إلى انخفاض حركة الأكسيجين خلال حبيبات مادة البيئة. ومما تجدر الملاحظة إليه وجود الأتربة الناعمة فى بعض البيئات الصلبة خاصة بيئة الرمل والحصى والذى يزيد من قدرة البيئة على الاحتفاظ بالماء، مما يقلل معدل الصرف، بل قد يعوقه ولذلك يجب التخلص منه بالغسيل.

ثانياً : عدم وجود مواد ضارة أو سامة

يجب ألا تحتوى البيئة على مواد ضارة بنمو النباتات. فبيئة نشارة الخشب Sawdust مثلاً تحتوى غالباً على تركيز مرتفع من أملاح كلوريد الصوديوم NaCl، نظراً لما تتعرض له ألواح الخشب من نقع فى محلول ملحي لمدد طويلة، وكذلك بيئات الرمل Sand والحصى Gravel قد تحتوي على تركيزات مرتفعة من الأملاح على حسب مناطق الحصول عليه ولذلك فمن الضرورى تقدير تركيز الأملاح في بيئة النمو، فإذا وجد مرتفعاً وجب التخلص منه بالغسيل بالماء العذب.

كذلك فإن الرمل أو الحصى الناتج من مادة الأصل الجيرية (كربونات الكالسيوم $CaCO_3$) يجب تحاشى استخدامه، حيث إن وجود كربونات الكالسيوم من شأنه أن

يؤدى إلى ارتفاع رقم الـ pH للمحلول المغذى إلى الجانب القاعدى (pH أكبر من ٧)، وهذا الارتفاع فى قاعدية المحلول يؤدى إلى ترسيب الحديد والفوسفور، وبالتالى يعاني النبات من نقص هذه العناصر بالرغم من تواجدها فى المحلول المغذي. وعند وجود ضرورة إلى استخدام مثل هذه البيئات تحت هذه الظروف فإنه يتم غسلها بالأحماض المخففة مثل: حامض الأيدروكلوريك HCl، حيث يعمل على تحويل الكربونات في كربونات الكالسيوم إلى ثاني أكسيد الكربون CO_2، والماء H_2O ، وبالتالى يتم التخلص من الكربونات وتأثيرها القاعدى، ويستكمل التفاعل باتحاد الكلوريد مع الكالسيوم مكوناً ملح كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ سهل الذوبان والغسيل كما يتضح من المعادلة التالية :

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2 \uparrow$$

كما أنه من الممكن تحت ظروف خاصة نقع هذه المواد فى محلول فوسفاتى، حيث يؤدى ذلك إلى تقليل خروج الكربونات إلى المحلول، ومع ذلك فإن تأثير هذه المعاملة يستمر لفترة زمنية قصيرة تنشأ بعدها مشاكل فى تغذية النباتات.

ثالثاً : درجة الصلابة

يجب أن تكون البيئة الصلبة من مادة ثابتة لا تتكسر ولا تتفتت بسهولة مما يساعد على استخدامها لفترات طويلة، بالإضافة إلى أن المواد الناعمة سهلة التكسر تفقد بناءها بسرعة، وتقل أقطار حبيباتها سريعاً مما يؤدى إلى تضاغط البيئة وسوء تهوية الجذور بها. لذلك فإن حبيبات أو حصوات صخر الجرانيت تعتبر من أفضل المواد من حيث الصلابة والتماسك وخاصة تلك المحتوية على نسبة عالية من الكواتز والكالسيت والفلسبارات.

وجدير بالذكر أنه إذا ما استخدمت البيئات الصلبة فى الزراعة فى مزارع خارج الصوبة Open field فإنه يجب تحاشى استخدام الحبيبات التي لها حواف حادة غير منتظمة، حيث إن قدرتها على تثبيت النباتات قليلة مما يجعل النباتات سهلة الرقاد بالرياح، فإذا كان ولابد من استخدام هذه المواد فإنه يجب أن تكون الخمسة سنتيمترات العلوية من البيئة من حبيبات ذات حواف ناعمة .

نماذج من بيئات النمو الصلبة فى العالم

١ - البيت موس Peat Moss

والبيت موس عبارة عن مادة عضوية متحللة توجد فى مستنقعات المناطق الرطبة على مساحات كبيرة تعرف بمناجم البيت ، حيث يتم الحصول عليه فى درجات متباينة من التحلل نظراً لاختلاف طبيعة المواد والنباتات الموجودة فى هذه المستنقعات، وعليه يجب إجراء عملية فرز أولية لاستبعاد جذوع الأشجار والشجيرات غير المتحللة والتى يتم طحنها والحصول منها عى درجة أو Grade من درجات تصنيف البيت موس ، أما باقى المواد فيتم تصنيفها على حسب درجة النعومة التي هى عليها. وفي الغالب يكون هناك ثلاث درجات من النعومة للبيت موس والتى تحدد إلى حد ما طبيعة استخدامها فى الزراعة، وهذه الدرجات هى :

أ - البيت موس الناعم Fine Peat Moss Grade

وأقطار حبيباته أو جزيئاته تتراوح من صفر إلى ١٠ مم وهو مناسب لزراعة النباتات الصغيرة أى فى مراحل النمو الأولى وذلك فى الأصص الصغيرة حتى قطر ٧ سم .

ب - البيت موس المتوسط النعومة Medium Peat Moss Grade

تتراوح أقطاره من صفر إلى ٢٥ مم وهى مناسبة للنباتات متوسطة العمر والتي تزرع غالباً فى أصص قطرها يبدأ من ٥ - ١٣ سم أو الأصص والأكياس حجم ١ لتر .

ج - البيت موس الخشن Coarse Peat Moss Grade

وهذا النوع تتراوح أقطاره من صفر إلى ٣٥ مم ويستخدم فى حالة المحاصيل التي تمكث فترة طويلة فى بيئة النمو والتى غالبا ما يتم زراعتها فى أصص قطرها أكبر من ١٣ سم أو التي يزيد حجمها عن ١ لتر .

ويعبأ البيت موس سائباً فى أكياس ويسوق للاستخدام كبيئة للزراعة اللاأرضية ، أو يضغط فى مكعبات ، وهذه المكعبات تستخدم فى إنبات البذور والحصول منها على شتلات قوية تستخدم فى الزراعة فى بعض البيئات الصلبة الأخرى .. والبيت موس مادة غنية في محتواها من العناصر الغذائية وتستخدم بشكل واسع فى أوربا وفى مصر يتم استيرادها واستخدامها فى مشاتل نباتات الزينة بشكل واسع منفردة أو مخلوطة مع

بيئات أخرى لتحسين حالتها الغذائية وقدرتها على الاحتفاظ بالماء .

كما أن الزراعة المباشرة فى مادة البيت موس فى المناطق المتوفرة به يعطى نمواً جيداً ومحصولاً وفيراً.

ومادة البيت موس تختلف فى بعض صفاتها وفى محتوى العناصر بها باختلاف مناطق الحصول عليها ، إلا أنها بشكل عام تحتوى على المادة العضوية بنسبة من ٩٤ – ٩٩٪ ، ورقم الحموضة pH يتراوح ما بين ٢,٥ – ٤,٥ والمسامية بها من ٩٥ – ٩٨٪ ، وقدرتها على الاحتفاظ بالماء تتراوح ما بين ٧٠٠ – ١٠٠٠ جرام لكل ١٠٠ جرام ، والعناصر الغذائية بها كما يلى :

النيتروجين أقل من ٥٠ ملليجرام /لتر – الفوسفور أقل من ٣٠ ملليجرام / لتر

البوتاسيوم أقل من ٤٠ ملليجرام / لتر – المغنسيوم أقل من ٨٠ ملليجرام / لتر

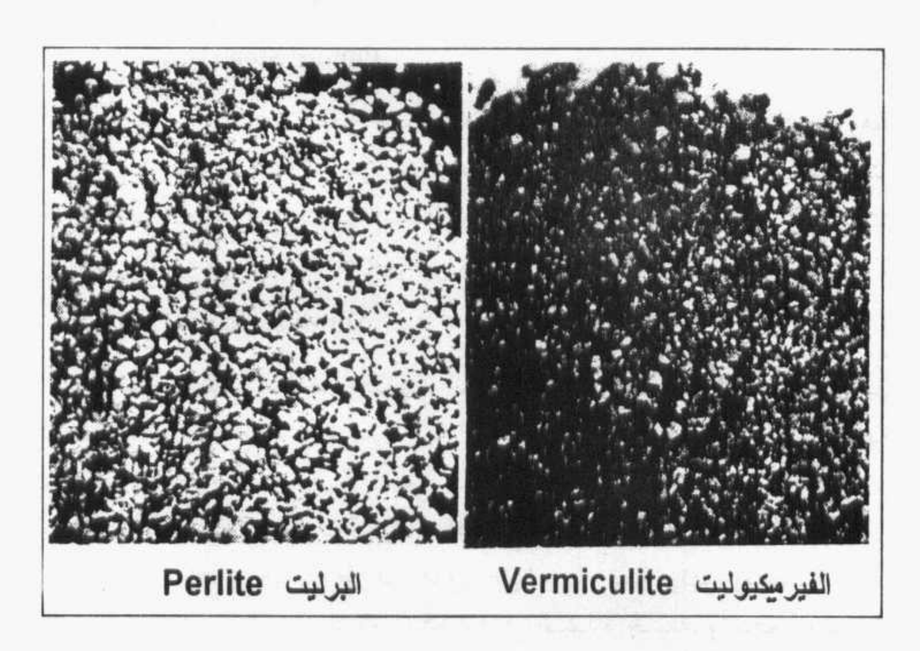
٢ – سفاجنيوم موس Sphagnum Moss

وهذا المكون يشبه البيت موس من حيث ظروف النشأة والخواص إلا أن المخلفات المتحللة هي لإحدى نباتات المستنقعات الحامضية من جنس Sphagnum . ويتميز سفاجنيوم موس بقدرته الكبيرة على امتصاص الماء الذى يبلغ ٨ أمثال وزنه بعد التشبع وصرف الماء الزائد والذى ينصرف بسهولة. والسفاجنيوم يميل إلي الحموضة ، ومع ذلك فقدرته على مقاومة التغير فى رقم الـ pH عالية High buffering capacity . ويوجد من السفاجنيم نوعين : الأول : غامق اللون وهو الذى أخذ حظه من التحلل ، والثاني : فاتح اللون متوسط التحلل يتميز بالتهوية الجيدة وبقيمة متوسطة للاحتفاظ بالماء مما يزيد من سعره .

٣ – الفيرميكيوليت Vermiculite

عبارة عن رقائق معدنية Flaky minerals تستخرج من مناجم الميكا فى أفريقيا وأمريكا وأستراليا. وللحصول على الصورة المستخدمة كبيئة زراعية، يتم معاملة المعدن الخام لدرجة حرارة ١٠٠٠ درجة مئوية فتتحول الرطوبة الموجودة به إلي بخار يزيد من الضغط داخل طبقاته، فيؤدى ذلك إلى تكسير وتقسيم هذه الطبقات إلى جزئيات أو أجزاء صغيرة خفيفة ومسامية ذات صفات جيدة للزراعة اللا أرضية (شكل ١٠–٩).

ومن الناحية الكيميائية فإن الفيرميكيوليت عبارة عن سليكات الحديد والألومنيوم والماغنسيوم المتأدرتة والتي تمتاز بقدرتها على الاحتفاظ بقدر مناسب من الماء والتبادل الكاتيوني والقدرة التنظيمية العالية. ويمتاز الفيرميكيوليت بوجود عنصري الماغنسيوم والبوتاسيوم في صورة ميسرة يمكن للنباتات امتصاصها والاستفادة منها. ويعتبر الفيرميكيوليت مادة ماصة للماء، وبالتالي يظل مبتلاً معظم الوقت، ولذلك يفضل خلطه بمواد أخري ليقلل ذلك من حالة الابتلال لتظل الرطوبة مناسبة لنمو النبات.



شكل (١٠-٩) : عينات من بيئات الفيرميكيوليت والبرليت المستخدمة في الزراعة اللاأرضية

٤ - البرليت Perlite

عبارة عن زجاج بركاني يتم الحصول عليه عند تبريد الحمم المنصهرة بسرعة. وعند طحن هذا الزجاج البركاني وتسخينه حتي درجة حرارة قدرها ١٠٠٠ درجة مئوية، يتحول إلى حبيبات صغيرة بيضاء مرنة تشبه في قوامها قوام الفوم المحبب Granulated foam (شكل ١٠-٩). ويتميز البرليت بأنه مادة قليلة المسامية وفي الوقت نفسه

جيدة الصرف مما يجعل من البرليت والفيرميكيوليت مادتين تكملان بعضهما من حيث امتصاص الماء والصرف والتهوية، وأفضل نسبة منهما توفر المثالية فى بيئة النمو هى ٢ : ١ أى حجمين من البرليت وحجم واحد من الفيرميكيوليت . والبرليت على عكس الفيرميكيوليت، حبيباته خاملة وليس لها القدرة على التبادل الكاتيونى وليس لها قدرة على التنظيم No buffering، ولا توجد به عناصر غذائية فى صورة ميسرة للنبات، ولكن الحبيبات مع بعضها تتميز بوجود الخاصية الشعرية مما يسهل من استخدامها كبيئة تروي بنظام الرى تحت السطحى .

٥ - البوميس Pumice Stone

والبوميس - يشبه البرليت - فهو من الصخور السليكاتية من أصل بركانى . وهو موجود طبيعياً ولا يحتاج إلي حرارة أو تسخين، بل إن كل ما يجري عليه من عمليات هو التكسير والطحن إلى الحجم المناسب من الحبيبات . والبوميس مادة أثقل من البرليت ولا تمتص الماء بسهولة . ويستخدم البوميس بمفرده أو مخلوطاً مع الرمل والبيت موس .

٦ - نشارة الخشب Sawdust

هو عبارة عن قلف الأشجار والبقايا والمخلفات التي تنتج أثناء العمليات التصنيعية للأخشاب فى المصانع وورش النجارة . وفى المناطق التي تنتشر فيها الغابات ويكثر فيها تصنيع الأخشاب مثل : شمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية وغرب كندا وكولومبيا، يتم إنتاج هذه النشارة بكميات كبيرة، مما أدى إلي استخدامها كبيئة للزراعة اللاأرضية . ومن أهم ما يميزها فى هذه المناطق توفرها ورخص ثمنها وخفة وزنها . وتنتشر الرطوبة فى نشارة الخشب الناعمة أسرع من انتشارها فى النشارة الخشنة، وتستخدم نشارة الخشب بمفردها أو مخلوطة مع السفاجنيم موس أو البيت موس أو الرمل وتعطى نتائج جيدة .

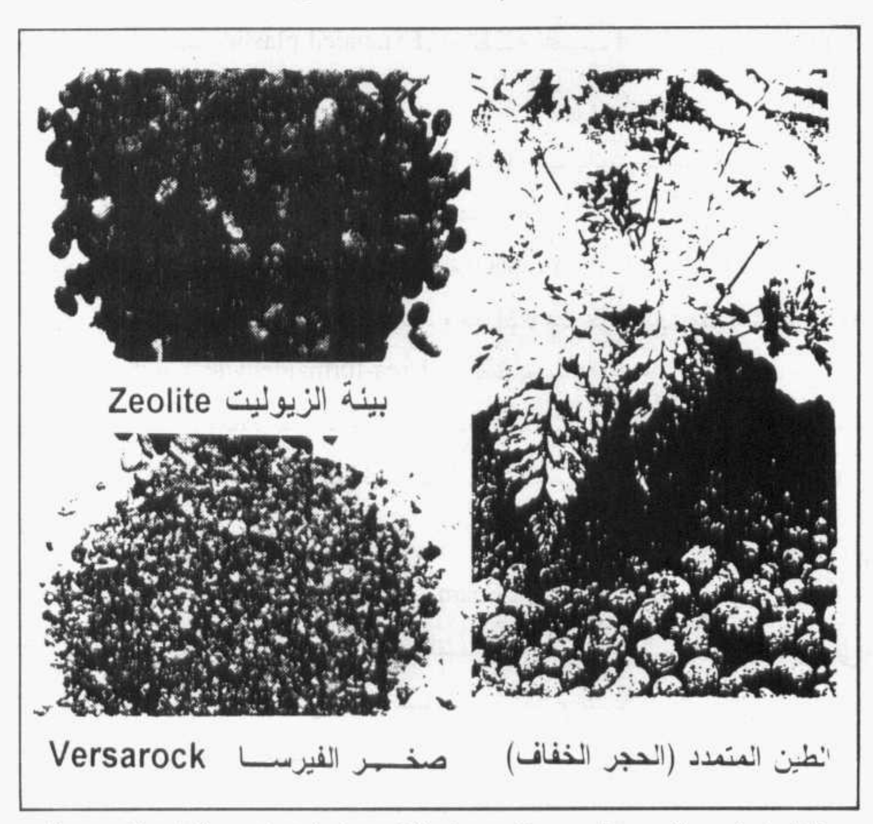
٧ - صخر الفيرسا Versa Rock

صخر الفيرسا هو ناتج الرماد البركانى للأصول الجرانيتية والذى يعتبر من الخلطات الأولية للسيراميك شكل (١٠ - ١٠)، وصخر الفيرسا يتكون من الناحية الميزالوجية من الكاؤلينيت والأوبال، وهى مادة خاملة، لها القدرة على مقاومة التغير فى رقم الـ pH، ولها القدرة على امتصاص الماء، وتتميز بأنها مادة مسامية، يتخللها الهواء بسهولة نظراً لوجود جزيئاتها فى أشكال ذات ٤ - ٦ أوجه، ومع ذلك فقدرتها على التبادل

الكاتيونى ضعيفة، كما أنها خفيفة الوزن، وتتميز أيضاً بصفة العزل الحرارى Insula-tion بحيث لا ترتفع درجة حرارتها بسرعة فى الجو الحار، ولا تنخفض أيضاً بسرعة فى الجو البارد، ويتميز صخر الفيرسا بميزة فريدة تميزه عن كل بيئات النمو وهو تغير لونها بتغير حالة الرطوبة التى هى عليها مما يعطى مؤشراً جيداً لكمية الرطوبة بها، الأمر الذى يسهل معرفة وقت الحاجة إلى الرى.

٨ - الطين المتمدد Expanded Clay

والطين المتمدد يعرف باسم « الليكا LECA » اختصاراً للتعريف الإنجليزى Light Expanded Clay Aggregates، أى « تجمعات الطين المتمدد الخفيف »، وهو ما يعرف فى مصر وفى بعض البلاد العربية باسم الحجر الخفاف شكل (١٠ - ١٠).



شكل (١٠ - ١٠): عينة من بيئات صخر الفيرسا والزيوليت والطين المتمدد والتي تستخدم في الزراعات اللاأرضية

وينتج هذا النوع من «الطين المتمدد» من تسخين مزيج من الطين فى خلاط يدور بسرعة كبيرة ليتكون نتيجة ذلك كرات صغيرة الحجم، خفيفة الوزن، مسامية، لها خاصية شعرية، وذات تهوية عالية، وينتج الطين المتمدد أو الحجر الخفاف فى أحجام مختلفة تستخدم بكثرة فى الزراعات المنزلية سواء كان ذلك بالزرعة فيه مباشرة أو وضعه على سطح أى بيئة أخرى حيث يعوق نمو وانتشار الطحالب.

٩ - البلاستيك المتمدد Expanded Plastic

فى كثير من دول العالم تجرى التجارب على تخليق بعض المواد كيميائياً من المركبات العضوية مثل: البولى يوريثان Polyurethane، البولى سيترين Polystyrene، أو اليوريا فورمالدهيد Urea-formaldehyde بهدف استخدامها كبيئة زراعية فميا يعرف بالبلاستيك المتمدد Expanded plastic، أو الفوم المحبب Synthetic granulated foam.

والفوم الناتج عبارة عن حبيبات Granules خاملة كيميائياً، خفيفة الوزن تصنع فى أشكال وأحجام متعددة ذات كثافة ومسام مختلفة، هذه الاختلافات فى الحجم والكثافة والمسام يعطى لمادة الفوم قدرة على حفظ الماء Water retention capacity تختلف تبعاً لنوع ومواصفات الحبيبات المكونة لها، ولقد وجد أن ٤٥٤ جراماً من الفوم الناتج من مادة اليوريا فورمالدهيد Urea-formaldehyde يحتفظ بحوالى ١٢ جالوناً أمريكياً من الماء (حوالى ٤٥ لتراً)، ومادة الفوم لا تحتفظ بالعناصر الغذائية بشكل جيد وليست دعامة جيدة للنباتات النامية بها، كما أنها ليس لها قدرة تنظيمية على تغير رقم الـ pH ولذلك يفضل استخدامها مع بيئات أخرى.

ولقد استخدمت مخاليط من مادة الفوم Foam والرمل Sand بنجاح كبير فى إنتاج الأبصال المختلفة وزراعة نباتات القرنفل والطماطم والعديد من النباتات التى تزرع فى المنازل، والفوم يستخدم بشكل جيد أيضاً كمادة لإنتاج الشتلات من خلال مكعبات وبلوكات الإنبات المصنعة منها.

١٠ - الزيوليت Zeolite

وهو عبارة عن مجموعة من السليكات المائية التى تؤدى إلى زيادة السعة التبادلية الكاتيونية فى التربة، والمكون الأساسى فى الزيوليت هو Clinoptilolite الذى يتكون من الكالسيوم والبوتاسيوم والماغنسيوم والصوديوم والألومنيوسليكات، ويوجد الزيوليت بشكل طبيعى فى بعض المناطق إلا أنه لم يستخدم حتى الآن على نطاق واسع كبيئة للزراعة اللاأرضية بالرغم من استخدامه بنجاح فى الولايات المتحدة الأمريكية، بالإضافة إلى مادة أخرى هى الأباتيت Apatite، وتتميز بالقدرة على التبادل الكاتيونى العالى والذى يسهل على النباتات الاستفادة منه، كما أنه يشبه الحصى من حيث الوزن والحجم شكل (١٠ - ١٠).

١١ - مخاليط بيئات الزراعة اللاأرضية Soilless Mixtures

معظم مخاليط بيئات الزراعة اللاأرضية تحتوى على بعض التوليفات من الرمل Sand والبيت Peat moss والبرليت Perlite والبوميس Pumice والفرمكيوليت Vermicu-lite، وتساهم كل بيئة من هذه البيئات بقدر معين فى مخلوط البيئة اعتماداً على نوع النباتات المطلوب تنميتها بها.

ونظراً لأن مادة البوميس رخيصة الثمن فإنها تحل محل مادة البرليت فى معظم مخاليط البيئات، هذا بالإضافة إلى أن مادة السفاجنيم أيضاً يمكنها أن تحل هى الأخرى محل مادة البيت موس فى حالة توفرها فى منطقة من المناطق.

ومن أمثلة هذه المخاليط :

مكونـــات المخلـــوط	نسبة الخلط	الاســـتخدام
بيت موس : البرليت : الرمل	بنسبة ٢ : ٢ : ١	وتستخدم كبيئة للزراعة المستديمة
بيت موس : البرليت	بنسبة ١ : ١	تستخدم كبيئة لإنتاج الشتلات
بيت موس: الرمل	بنسبة ١ : ١	تستخدم كبيئة لإنتاج الشتلات وبيئة للزراعة المستديمة
بيت موس: الرمل	بنسبة ١ : ٣	تستخدم كبيئة لإنتاج الشتلات
بيت موس: الرمل	بنسبة ٣ : ١	يعطى بيئة خفيفة الوزن، يمتاز بالتهوية الجيدة، تستخدم كبيئة للزراعة فى أصص أو بيئة للمشتل
بيت موس: الفيرميكيوليت	بنسبة ١ : ١	وتستخدم كبيئة لإنتاج الشتلات
الفيرميكيوليت: البرليت	بنسبة ١ : ١	بيئة خفيفة الوزن، ممتازة فى إنتاج الشتلات
بيت موس: البوميس: الرمل	بنسبة ٢ : ٢ : ١	وتستخدم كبيئة للزراعة المستديمة

وطبيعة كل بيئة من البيئات السابقة تحدد إلى حد كبير طريقة استخدامها فى الزراعة ونوع الحاويات المستخدمة لها.

نماذج لمزارع البيئات الصلبة Solid Medium Cultures

مع اختلاف أنواع البيئات الصلبة المستخدمة فى المزارع اللاأرضية إلا أنها يمكن تقسيمها تقسيمًا عامًا كما كان متبعًا منذ سنة ١٩٧٦ بحيث تصبح كل المزارع التى قطر حبيباتها أقل من ٣ مم مزارع رملية، ومزارع البيئات الأخرى التى يكون قطر حبيباتها أكبر من ٣مم تعتبر مزارع حصى. وعلى هذا الأساس سوف نسوق مثالاً للمزارع الرملية، وآخر لمزارع الحصى، وعلى أساسهما ينطبق استخدام أى بيئة مماثلة فى القطر فى الزراعات اللاأرضية مع بعض التعديلات البسيطة التى قد تلزم، نتيجة اختلاف الصفات الطبيعية للبيئة المستخدمة.

أولاً : مزارع الحصى Gravel and Stone Cultures

الحصى هو تعبير حجمى يطلق على الحبيبات التى أقطارها تزيد عن ٣ مم (٠,١٢ بوصة)، وبالتالى يشمل كل حبيبات وجزيئات المواد الصلبة المسامية وغير المسامية الثابتة وغير القابلة للانهيار، ولا يقتصر اللفظ على حبيبات الجرانيت المسحوق أو الكوارتز.

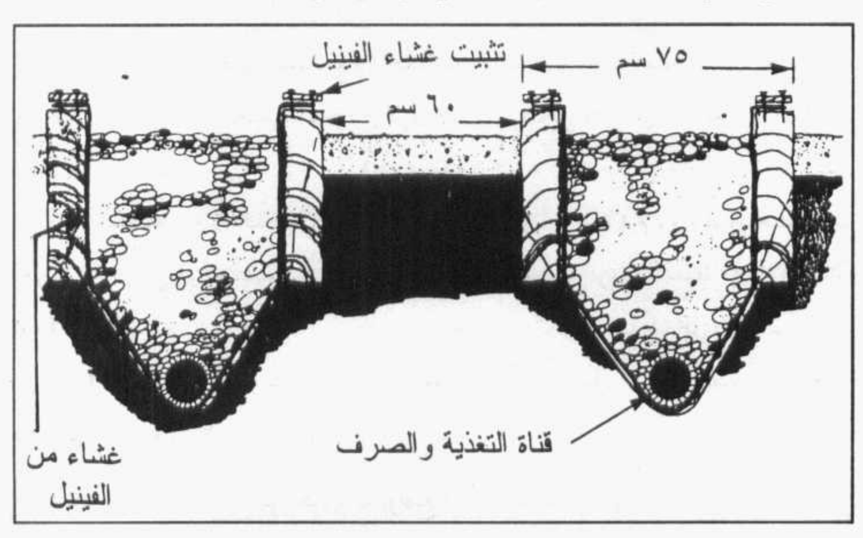
وتختلف أقطار الحصى المستخدم باختلاف طريقة الرى المراد استخدامها، أو الطريقة المتوفرة للاستخدام. فعند استخدام الرى تحت السطحى Sub-irrigation فإن أقطار الحصى تتفاوت ما بين ٠,١٢ - ٠,٦٠ بوصة (٣- ١٥مم) مع مراعاة أن يكون نصف الحصى المستخدم له أقطار فى حدود ٠,٥ بوصة (١٠ - ١٢مم) وأفضل حصى هو الجرانيت المجروش غير منتظم الشكل، وعند استخدام طريقة الرى بالتنقيط Drip irrigation أو (الإسباجيتى) فإن حبيبات الحصى يجب أن تكون أقطارها أقل، حيث تتراوح ما بين ٠,١٢ - ٠,٣٦ بوصة (٣ - ٩مم) على أن يكون نصف حجم الحصى المستخدم ذو أقطار فى حدود ٠,٢ بوصة (٥-٦مم).

ومزارع الحصى تحتاج إلى حاويات يوضع فيها بيئة النمو ، وهذه الحاويات عبارة عن مراقد أو أحواض:

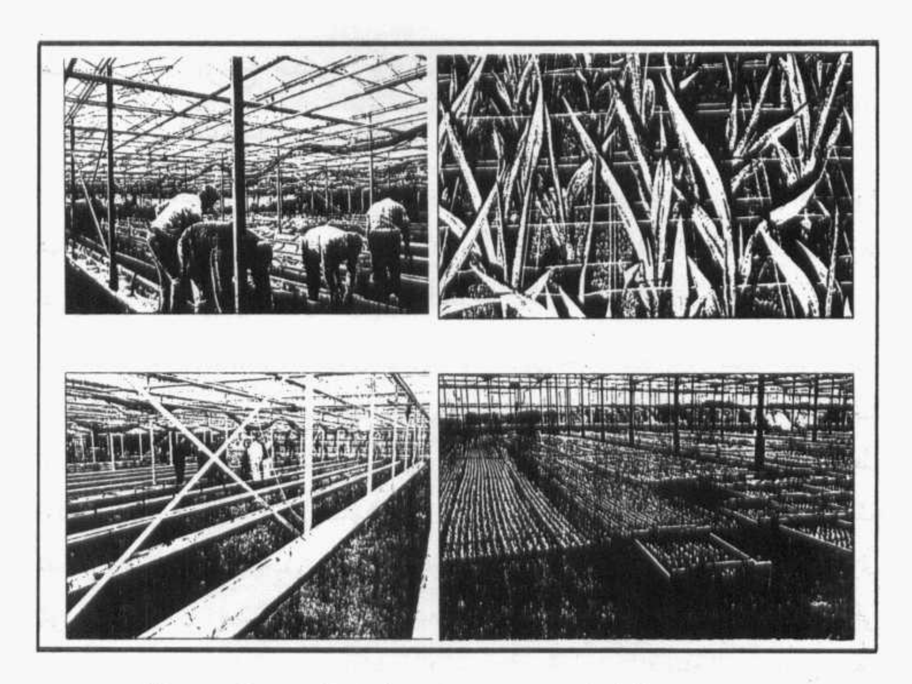
المراقد وأحواض النمو :

يجب تصميم مراقد Beds وأحواض Boxes الزراعة بالشكل الذى يسمح بسرعة ملئها بالمحلول وسرعة وكفاءة عملية الصرف. وحتى يتحقق ذلك فإن قاع الحوض أو المرقد لا يكون مستوياً، وإنما يكورن ذو ميل يسمح بتجميع الماء الزائد من الرى، وهذا الميل إما أن يكون فى اتجاه واحد أو يكون فى منتصف القناه، حيث يصبح قاع الحوض على شكل حرف V، كما فى شكل (١٠-١١). كما يجب ألا يقل عرض المرقد عن ٢٤ بوصة (٦٠ سم) وعمق من ١٢-١٤ بوصة (٣٠-٣٥سم) وطول لا يزيد عن ١٢٠-١٣٠ قدم (٣٥-٤٠)متر وميل يتراوح ما بين ١-٢ بوصة لكل ١٠٠ قدم. ويتم دخول المحلول إلى البيئة وصرفه منها عن طريق ثقوب أقطارها من ٠,٢٥-٠,٥٠ بوصة (٦-١٢مم) على مسافات تتراوح ما بين ٣٠-٦٠سم على مدى الطول الكلى للماسورة على أن تكون الثقوب على السطح الأسفل للماسورة لمنع دخول جذور النباتات إلى داخلها.

يتم ملأ المرقد بالحصى حتى ارتفاع ١ بوصة (٢,٥سم) من قمة المرقد عند الجانب الملاصق لخزان المحلول وحتى ارتفاع ٢ بوصة (٥ سم) من قمة المرقد عند الطرف البعيد له، ثم يستخدم أحد أنظمة الرى المناسبة. والشكل (١٠-١٢) يوضح مراقد النمو المنفذة فى كامل أرضية الصوبة لمزرعة حصى من البوميس.



شكل (١٠-١١): قطاع عرضي لمرقد مزرعة حصي تروي بطريقة الري تحت السطحي



شكل (١٠-١٢) : الزراعة في أحواض مجهزة علي أرضية الصوبة بها بيئة البوميس

المواد المستخدمة فى الإنشاءات :

حيث إن الأسمدة المستخدمة فى تحضير المحلول المغذى هى مواد مسببة للتآكل Cor-resive فإن أجزاء نظام الرى التى يتعرض لهذا المحلول مثل المضخات والمواسير والمحابس سوف تتآكل بعد فترة زمنية قصيرة. ومن جهة أخرى فإن المواد المجلفنة والتى تقاوم التآكل ينطلق منها كميات كبيرة من الزنك إلى المحلول إلى درجة حدوث سمية للنباتات ونفس المشكلة بالنسبة للمواد المصنوعة من النحاس. ولذلك يجب استخدام الأنابيب والوصلات والمضخات المصنوعة من البلاستيك، وكذلك فإن خزان المحلول المغذى يجب أن يكون من البلاستيك أو الخرسانة، أما المراقد والأحواض (أحواض النمو) فيمكن أن تكون من الخشب المبطن من الداخل بشرائح البلاستيك السميك (٦ ميل mil) ويفضل شرائح الفينيل (٢٠ ميل mil) والتى تستخدم عادة فى أحواض السباحة. كما يمكن تجهيز هذه المراقد باستخدام الخرسانة ولكنها فى هذه الحالة تكون مكلفة.

طرق الرى فى مزارع الحصى :

أولاً : الرى تحت السطحى Sub-surface Irrigation

تستخدم عدة طرق فى رى مزارع الحصى، وبصفة عامة فإن النظام الشائع الاستخدام هو نظام الرى تحت السطحى Sub-surface or Sub-irrigation system والذى يعتبر من الأنظمة المغلقة Closed system فى التغذية.

وهذا النظام يتم فيه ضخ المحلول المغذى الموجود فى خزان التغذية بواسطة مضخة طرد مركزى تعمل على فترات متقطعة ينظمها جهاز توقيت (Timer) إلى الأنابيب المثقبة الممتدة بطول الحوض أسفل سطح الحبيبات. ويستمر عمل المضخة لفترة زمنية مضبوطة أوتوماتيكيًا تكون كافية لأن يغمر المحلول المغذى بيئة النمو (لمدة ١٠ - ١٥ دقيقة)، ثم تفصل دائرة موتور المضخة، وبالتالى يهبط المحلول بالجاذبية الأرضية لينصرف مرة أخرى إلى خزان المحلول المغذى (أى أن الخزان يعمل كمصرف مجمع وكخزان للمحلول فى وقت واحد). وبعد فترة زمنية مناسبة تعتمد على خواص مادة بيئة النمو ونوع وعمر النبات، بالإضافة إلى العوامل المناخية، يعاد ضخ المحلول إلى البيئة مرة ثانية (شكل ١٠- ١٣).

ويعتبر توقيت فترات الرى وطول فترة الرى من العوامل الهامة فى نجاح نظام الرى تحت السطحى، وكل دورة رى يجب أن توفر للنبات احتياجاته من الماء والمغذيات، بالإضافة إلى التهوية المناسبة للجذور.

* توقيت فترات الرى (الفترة ما بين الريات)

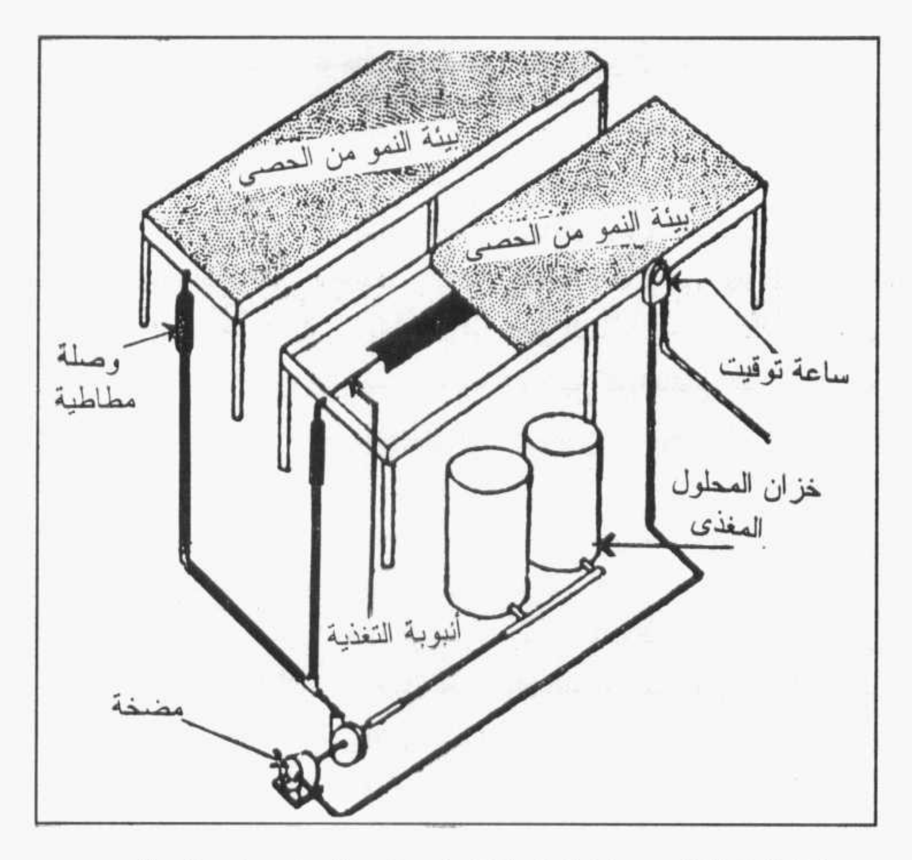
تعتمد الفترة ما بين الريات على عدد من العوامل هى :

أ - حجم حبيبات البيئة.   ب - شكل الحبيبات.

جـ - طبيعة المحصول.   د - حجم النبات.

هـ - العوامل المناخية.   و - الوقت من اليوم.

فالحبيبات الملساء السطح والمنتظمة الشكل والكبيرة الحجم يجب ريها على فترات قصيرة بالمقارنة بالحبيبات المسامية غير المنتظمة الشكل والصغيرة الحجم.



شكل (١٠-١٣): رسم تخطيطي لنظام الري تحت السطحي في مزارع الحصي

والمحاصيل ذات المجموع الخضرى الكبير والتى تنتج ثماراً تحتاج إلى تقارب فترات الرى عن المحاصيل قصيرة العمر ذات المجموع الخضرى المحدود. فزيادة المجموع الخضرى للنبات يزيد من معدل فقد الماء بالنتح نتيجة لكبر مساحة سطوح الأوراق المعرضة للجو، كما أن المناخ الحار الجاف أثناء فصل الصيف يساعد ويشجع أيضًا على زيادة معدل البخر ويجعل من تقارب فترات الرى أمراً ضرورياً، فى حين تتباعد المسافة بين الريات فى ظروف الجو المعتدل والبارد. بالإضافة إلى ذلك فإن اختلاف درجة الإضاءة والحرارة خلال فترات اليوم يؤدى إلى اختلاف معدلات الرى، وحيث إن شدة الإضاءة والحرارة تكون فى أقصى درجاتها عند منتصف النهار، فإنه يجب اختصار الوقت بين الريات. ويعتبر الرى بمعدل ٣ - ٤ مرات يوميًا خلال شهور فصل الشتاء وبحد أقصى ١٥ دقيقة فى كل دورة أمراً جيداً لمعظم المحاصيل. أما فى شهور فصل الصيف فإنه قد يصل الأمر إلى الرى كل

ساعة خلال فترات النهار ولا توجد ضرورة لضخ المحلول والرى أثناء فترة الليل.

ومن العوامل الهامة التى تؤثر أيضًا فى عدد مرات الرى (وتقليل الفترة بين الريات) هو طبيعة امتصاص النبات للماء من المحلول المغذى، حيث يقوم النبات بامتصاص الماء بمعدل أسرع من امتصاص المغذيات الأمر الذى يؤدى إلى ازدياد تركيز الأملاح فى الأغشية المغذية حول الحبيبات وجذور النباتات، كذلك يزداد تركيز الأملاح فى الغشاء المغذى مع ازدياد معدل النتح وزيادة معدل امتصاص الماء. وبزيادة عدد مرات الرى يتم توفير الاحتياجات الكبيرة من الماء للنباتات النامية وتصبح كمية الماء فى الفراغات البينية فيما بين الحبيبات عند المستوى الأمثل، وهذا من شأنه منع زيادة تركيز الأملاح فى المحلول المغذى حول جذور النباتات بدرجة كبيرة فى الفترة ما بين الريات. كما أنه من المهم أن يتم الرى على فترات متقاربة أيضًا حتى لا يحدث استنفاذ كبير للمغذيات فى المحلول المحيط بالحبيبات، ومن الطبيعى أن يكون تركيب المحلول المغذى حول الحبيبات مماثلاً تقريبًا لتركيب المحلول الموجود فى الخزان، وذلك عقب الرى مباشرة. وباستمرار امتصاص المغذيات فإن تركيزها فى البيئة يتغير سواء بالنسبة لنسب الأيونات إلى بعضها البعض، أو بالنسبة للتركيز الكلى للأيونات و pH المحلول. وتباعد فترات الرى قد يؤدى إلى ظهور أعراض نقص بعض العناصر على النباتات بالرغم من أن المحلول المغذى المستخدم فى التغذية يحتوى على كميات كافية من هذه العناصر لذلك يجب تقريب فترات الرى للحفاظ على تركيب المحلول المغذى فى وسط النمومماثلاً لذلك الموجود فى خزان المحلول المغذى. ولا يؤثر تقليل الفترات بين الريات على درجة التهوية طالما أن مهد النمو يتم صرفه تمامًا بين الريات.

* سرعة ضخ وصرف المحلول من أحواض النمو

تتحكم السرعة التى يتم بها ضخ المحلول المغذى إلى البيئة وصرفه منها فى درجة تهوية جذور النباتات النامية بها. فالجذور تحتاج إلى الأكسيجين لعمليات التنفس الذى يمد النباتات بالطاقة اللازمة لامتصاص الماء والعناصر الغذائية، وبالتالى فإن عدم كفاية ونقص الأكسيجين حول الجذور يبطئ من نموها، وقد يؤدى إلى موتها وينعكس ذلك بالطبع على محصول النبات. وفى نظام الرى تحت السطحى حيث يملأ المحلول الفراغات الموجودة بين حبيبات الحصى بدءاً من أسفل ومتجها لأعلى فإنه يدفع الهواء الموجود

بينها والمحمل بتركيز منخفض نسبيًا من الأكسيجين وتركيز مرتفع من ثانى أكسيد الكربون إلى الخارج. وعند انصراف المحلول من البيئة فإنه يسحب الهواء من الجو إلى الفراغات البينية للحبيبات، وهذا الهواء الجديد يحتوى على نسبة مرتفعة نسبيًا من الأكسيجين وتركيز منخفض نسبيًا من ثانى أكسيد الكربون، وبالتالى فإن عملية ضخ المحلول وصرفه تحدد بل وتتحكم فى عملية تجديد الهواء ،والأكسيجين فى البيئة، وكلما زادت سرعة مرور المحلول (رى وصرف) فى بيئة الحصى كلما ازدادت سرعة إحلال الهواء الجديد إلى داخل البيئة. وتتأثر درجة التهوية أيضًا بتوقيت فترات الرى، فإذا تم غمر البيئة بالمحلول على فترات متقاربة فإن الفراغات ما بين الحصى تكون مملؤة بالماء أكثر منها بالهواء، وبالتالى ينخفض تركيز الأكسيجين حول الجذور.

وبصفة عامة فإن فترة زمنية قدرها ١٠ – ١٥ دقيقة لملأ البيئة بالمحلول ومثلها لصرف المحلول منها (الزمن الكلى لدورة الرى والصرف من ٢٠–٣٠ دقيقة) تعتبر كافية ومقبولة لكل رية، وعند صرف المحلول من البيئة يجب أن يكون الصرف تامًا حيث إنه من المطلوب وجود غشاء رقيق من المحلول حول الحبيبات دون وجود زيادة فى قاع المرقد والذى إن وجد يؤثر على نمو الجذور والنبات. وهذا الصرف السريع للمحلول من البيئة يمكن أن يحدث باستخدام أنبوبة قطرها كبير نسبيًا وذات ثقوب واسعة لمنع حدوث أى انسداد.

وخلاصة القول فإن دورة الرى المناسبة تستلزم:

١ – ملء المرقد بسرعة.

ب – صرف المحلول بسرعة.

جـ – صرف كامل للمحلول.

* تأثير دورات الرى على نمو النبات

عند تقليل عدد مرات الرى ينخفض محتوى بيئة الحصى من الرطوبة ويودى ذلك إلى زيادة تركيز الأملاح فى غشاء المحلول المغذى المحيط بالحبيبات، ونتيجة لزيادة الضغط الأسموزى فى هذا المحلول المغذى تنخفض قدرة الجذور على امتصاص الماء والعناصر الغذائية وبالتالى ينخفض معدل نمو النبات.

* منسوب المحلول فى البيئة

عند الرى يرتفع المحلول المغذى من أسفل إلى أعلى حتى يصل مستوى المحلول إلى ارتفاع ١ بوصة (٢,٥سم) من سطح الحصى، ويودى ذلك إلى استمرار جفاف الطبقة السحطية مما يقلل من معدل فقد الماء بالبخر، ويقل معه كذلك نمو الفطريات، هذا بالإضافة إلى أن جفاف هذه الطبقة يقلل من نمو جذور النباتات بها. وحتى إذا كان هناك نمو للجذور فإنه فى ظروف المناخ الحار ترتفع درجة الحرارة عادة فى الطبقة السطحية للبيئة لدرجة تضر بنمو أى جذور للنباتات بها.

* درجة حرارة المحلول

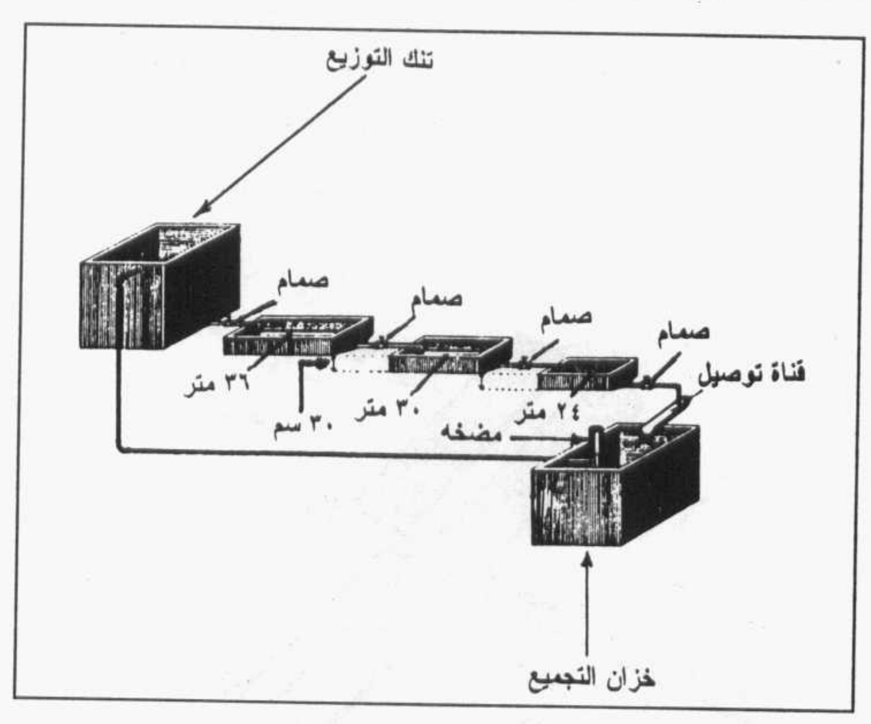
لا يجب أن تنخفض درجة حرارة المحلول المغذى عند درجة حرارة الهواء فى فترة الليل، ويمكن رفع درجة حرارة المحلول فى الخزان باستخدام مسخنات كهربائية Heaters تغمر فى المحلول. ويجب عدم استخدام أى مسخنات مغلفة بالرصاص أو الزنك حيث إنه يمكن أن تسبب سمية للنباتات ولذلك تستخدم مسخنات من الصلب غير القابلة للصدأ أو المغلفة بطبقة من البلاستيك الحرارى.

وهناك طريقتان للرى تحت السطحى تستخدمان تجاريًا فى الولايات المتحدة الأمريكية وبعض البلاد الأخرى يجدر الإشارة إليهما :

١ - الر ى بتأثير الجاذبية الأرضية Gravity Sub-irrigation system والذى يعرف بنظام الشرفات Terrace System

ونظام الشرفات هو عبارة عن مجموعة من المراقد أو الأحواض التى تعمل على المنحدرات، وتتلخص الطريقة بعمل ثلاثة أحواض للزراعة بعرض ١٢٠ سم وارتفاع ٣٠ سم وطول ٣٦ مترًا للأول و٣٠ مترًا للثانى و٢٤ مترًا للثالث.. هذه الأحواض الثلاثة يتم ترتيبها بحيث يكون كل حوض فى مستوى منخفض عن الحوض السابق له بمقدار ارتفاع الحوض (سطح الحوض الثانى فى مستوى قاعدة الحوض الأول). يوضع المحلول المغذى فى تنك رئيسى أعلى الحوض الأول بمقدار ١ متر وسعته ٤٠ لترًا لكل متر مربع من مساحة أكبر حوض. يتم التحكم فى حركة المحلول من التنك الرئيسى إلى الأحواض، وبين الأحواض وبعضها عن طريق صمامات أو محابس حيث يصل المحلول فى النهاية إلى

خزان لتجميع المحلول أسفل آخر حوض ومنه يتم ضخه مرة أخرى إلى التنك الرئيسى (شكل ١٠-١٤) . فى بعض الأحيان تستخدم طريقة السيفون الأوتوماتيكى لنقل المحلول من حوض إلى الذى يليه، هذا ويمكن توفير ساعة توقيت Time-Clock وعوامات تنظيم Float switches وصمامات لولبية Solenoid valve فيتحول النظام كله إلى نظام أوتوماتيكى. ويجب أن يتم ملء كل حوض قبل السماح للمحلول بالانسياب إلى الحوض الذى يليه وهذا النظام الذى يعمل بالجاذبية الأرضية يوفر كثير من سعة الخزانات والمضخات حيث إنه يلزم فقط ضخ المحلول المغذى أو ماء الرى بما يفى باحتياجات الحوض أو المرقد الأول.

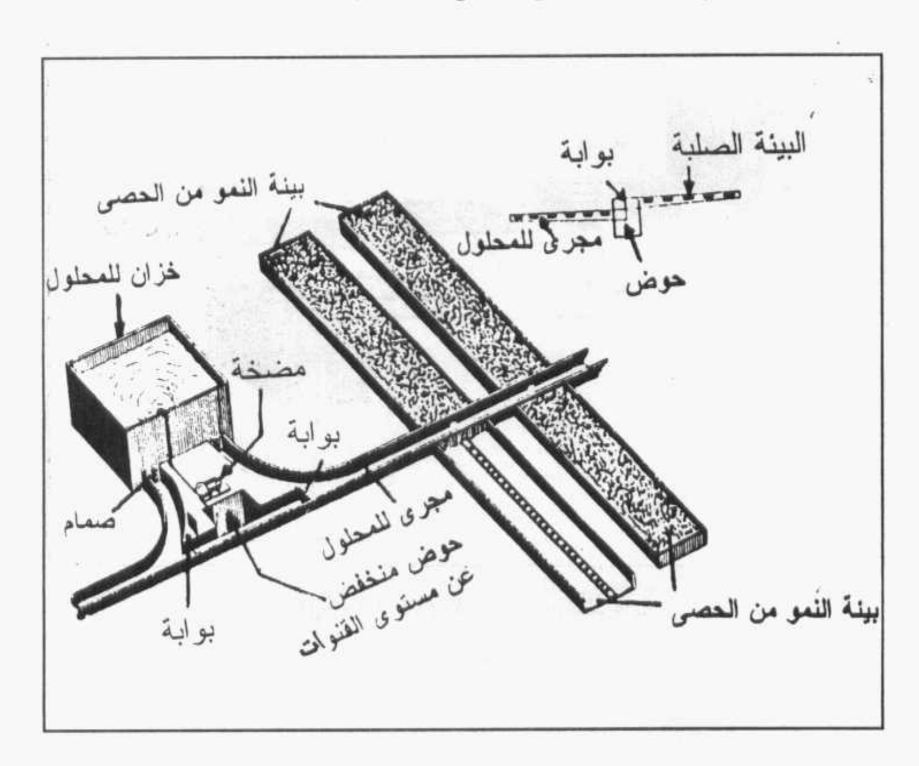


شكل (١٠ - ١٤): الري بنظام الشرفات

٢ – طريقة الرى تحت السطحى بطريقة القنوات

Gravel Sub-irrigation with the Flume Syste

فى هذا النظام يتم عمل أحواض الزراعة متوازية مع بعضها على أن يكون مستوى مواسير الرى السفلية فى هذه الأحواض فى نفس مستوى قنوات توصيل المحلول من الخزان الرئيسى والذى يرتفع عن سطح الأرض بمقدار ١ متر. يتم فتح خزان المحلول الرئيسى فيندفع المحلول إلى القنوات الرئيسية ومنها إلى قنوات أو مواسير أحواض الزراعة الموجودة أسفل بيئة النمو من الحصى. عندما يرتفع المحلول فى القنوات إلى الحد المطلوب (وهو ارتفاع المحلول فى أحواض الزراعة) يتم فتح البوابات الموصلة إلى خزان ذو مستوى منخفض عن سطح القنوات فينسحب كل المحلول إلى هذا الخزان، ومنه يتم ضخ محتواه من المحلول المغذى إلى التنك الرئيسى (شكل ١٠-١٥).



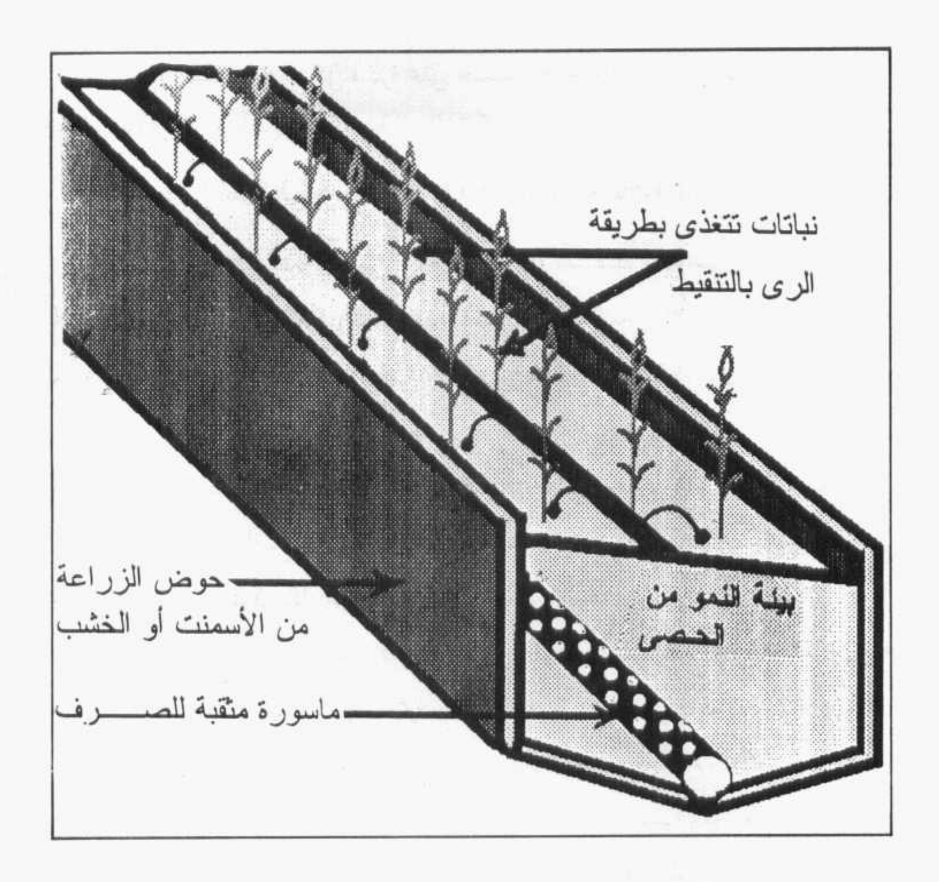
شكل (١٠-١٥): الرى تحت السطحي بنظام القنوات

تتم دورة التغذية هذه كل فترة على حسب حاجة النباتات والتى ترتبط بشكل مباشر بحالة الجو أو الظروف المناخية السائدة كما سبق شرحه.

ثانيًا: الرى بالتنقيط فى مزارع الحصى Drip Irrigation in Gravel

يتم تصميم مراقد النمو فى مزارع الحصى المروية بالتنقيط مثل التى تروى بنظام الرى تحت السطحى، وإن كان يمكن تبسيطها كما يوضحها شكل (١٠-١٦) ويكون قاع المرقد إما مستديراً أو على شكل حرف V، وفى هذه الحالة فإن المحلول المغذى يضاف بجانب كل نبات إما عن طريق إسباجيتى أو خرطوم مثقب، وبالتالى ينساب المحلول ويتخلل البيئة ويصل للجذور. ومن المهم جداً فى مزارع الحصى التى تروى بالتنقيط أن يكون قطر حبيباتها أصغر وتتراوح من ٣-٦ مم لتسهيل الحركة الجانبية للمحلول المغذى خلال البيئة. ويتكون نظام الرى من أنابيب تغذية قطرها الخارجى ٠,٥ بوصة (١,٢٥ سم) مصنوعة من البولى إيثيلين الأسود، ويخرج منها أنابيب إسباجيتى قطرها يتراوح من ٠,٠٤- ٠,٠٦ بوصة (١-١,٥ مم) وبطول مناسب يصل إلى قاعدة النبات وإن كان طوله لا يجب أن يزيد عن ٤ بوصة (١٠ سم) حتى نتجنب تأثير الاحتكاك على معدل تدفق المحلول منه. ومن عيوب طريقة الإسباجيتى انسداد الأنابيب ونمو الجذور بداخلها، كما أنها تعرقل العمل أثناء تغيير المحصول. ويلاحظ أن وضع مرشحات فى خط التغذية بعد حقن السماد يؤدى إلى تجنب كثير من مشاكل التشغيل.

وبديلاً عن الإسباجيتى يمكن استخدام خرطوم مثقب ذو جدار خارجى قطر ٠,٥ بوصة (١,٢٥ سم) حيث يرشح منه المحلول ببطء مما يؤدى إلى انسياب الماء على طول الخط على مسافات من ١٥-٢٠ سم أو أى مسافات تريدها أثناء التصنيع. وأحد الاعتراضات على هذه الطريقة هو انسداد مخارج المحلول المغذى - ونمو الطحالب - بالإضافة إلى ضرورة استبدالها كل محصول.



شكل (١٠-١٦): الرى بالتنقيط في مزارع الحصي

والمحلول المغذى يحقن فى نظام الرى بالتنقيط إما من تنك التغذية مباشرة أو من خلال حاقنات تقوم بحقن نسبة من المحلول المغذى المركز مع نسبة معينة من ماء الرى لتعطى فى النهاية المحلول المغذى بالتركيز المطلوب. وبصفة عامة لا يفضل استخدام الرى بالتنقيط فى مزارع الحصى وإنما يكون ذلك أفضل فى المزارع الرملية.

متابعة تركيب المحلول واستبداله:

١- ضبط المحلول

يقوم النبات أثناء نموه بامتصاص العناصر الغذائية من المحلول المغذى مما يخفض من تركيزاتها، أى أن تركيز العناصر فى المحلول لا يظل ثابتًا طوال الوقت وإنما يتغير باستمرار. ولذلك فإنه من الضرورى مراقبة التغير فى تركيز المحلول المغذى من وقت لآخر

مع العمل على إعادته إلى تركيزه الأصلى حسب الحاجة وحتى لا ينخفض تركيز المغذيات إلى الدرجة التى قد تؤثر على محصول النبات.

ويتم مراقبة التغير فى تركيز المحلول المغذى عن طريق قياس درجة التوصيل الكهربى للمحلول Electrical conductivity (EC). وتتم عملية القياس كل يوم أو يومين على الأكثر حسب الظروف. وعندما يلاحظ انخفاض شديد فى قيمة الـ EC عن القيمة الأصلية للمحلول المغذى فإن كمية من المحلول المركز يجب إضافتها لرفع قيمة الـ EC إلى قيمته الأصلية. (ويراعى زيادة حجم المحلول المغذى إلى حجمه الأصلى بإضافة الماء وخلط المحلول جيداً قبل قياس التوصيل الكهربى وخاصة فى النباتات الكبيرة سريعة النمو).

وكمية المحلول المركز الواجب إضافتها إلى المحلول المغذى واللازمة لرفع قيمة الـ EC للمحلول إلى قيمتها الأصلية تتوقف على معدل نمو النبات. وعادة ما نحتاج إلى لتر من المحلول المغذى المركز يومياً لكل ٢٥٠ لتراً من المحلول المغذى وذلك بالنسبة للنباتات التى يبلغ طولها ٢-٢,٥ متر. بينما فى خلال الشهر الأول من النمو، حيث تكون النباتات صغيرة، فإن الاحتياجات تكون حوالى ربع الكمية السابقة أو أقل. وعملية التحليل المستمر للمحلول لمتابعة التغير فى تركيز كل عنصر من العناصر تعطى المعلومات الضرورية لحساب معدل إضافة المحلول المركز من فترة إلى أخرى.

كذلك يتم قياس pH المحلول على فترات زمنية مناسبة، ثم يجرى تعديله بإضافة الأحماض أو القلويات حتى يكون فى حدود من ٦ إلى ٧ كحد أقصى طوال فترة نمو النبات.

٢- تغيير المحلول

تؤدى كثرة استخدام المحلول المغذى وإعادة ضبط تركيزه وتركيبه عدة مرات إلى إعطاء فرصة لتراكم الأملاح غير المرغوب فيها فى المحلول (مثل: الصوديوم - الكلوريد - البورون) وهذه الأملاح قد تكون كشوائب فى الكيماويات المستخدمة فى تحضير المحلول المغذى أو قد تكون موجودة فى الماء المستخدم لتحضير المحلول. وبصفة عامة فإن أى محلول مغذى لا يجب استخدامه لمدة تزيد عن ٣ شهور بدون استبداله بمحلول حديث التحضير كلية. ويعتبر استخدام المحلول لمدة شهرين هو المتوسط الزمنى الشائع

فى المزارع التجارية وذلك فى حالة استمرار تحليله وإعادة ضبطه بانتظام كل أسبوع. وبالطبع فإنه بدون هذا التحليل وإعادة ضبط المحلول فإن فترة عمر المحلول سوف لا تزيد عن ١-٢ أسبوع.

٣- غسيل البيئة

يؤدى استخدام المحاليل المغذية فى الرى باستمرار إلى تراكم الأملاح حول الحبيبات، ولذلك فإنه من الضرورى غمر الأحواض بالماء العذب مرة كل أسبوعين، ويتم ذلك عن طريق إضافة الماء إلى السطح (وليس عن طريق الرى تحت السطحى) ثم يصرف الماء.

تعقيم بيئة مزارع الحصى:

يتم تعقيم بيئة الحصى ما بين المحاصيل باستخدام هيبوكلوريت الصوديوم أو هيبوكلوريت الكالسيوم، حيث يحضر محلول من الكلورين تركزه ١٠٠٠٠ جزء فى المليون فى تنك المحلول المغذى، ويتم غمر البيئة عدة مرات بهذا المحلول لمدة من ٢٠-٣٠ دقيقة فى كل مرة، ثم يصرف الكلورين إلى المصارف ويغسل الحصى جيداً بالماء النظيف عدة مرات للتخلص من أى آثار للكلورين، ثم تترك المزرعة لمدة يوم أو اثنين لتهويتها قبل استخدامها فى زراعة المحصول التالى. أو يستخدم محلول الفورمالدهيد بتركيز ٠,٥-١٪ بنفس الطريقة السابقة.

وإذا استخدم نظام الرى بالتنقيط، فإنه يمكن ضخ محلول الكلورين خلال نظام الرى بالتنقيط ولكن ذلك يستغرق بعض الوقت، ولذلك يفضل غمر البيئة من أعلى حتى تمام ملئها، ثم تتبع باقى الخطوات السابقة.

وبعد نهاية كل محصول تتبقى بعض جذور النباتات فى وسط النمو (الحصى) وباستمرار الزراعة فإن التعقيم بالكلورين يصبح أقل فعالية إلا إذا أزيلت هذه الجذور وإزالتها عملية مكلفة، ولذلك تستخدم مواد أكثر فعالية فى التعقيم مثل التعقيم بالبخارSteem، أو استخدام مواد كيماوية مثل Vapam, Methyle promide, Chlo-ropicrin مع ملاحظة أن هذه المواد ضارة بصحة الإنسان، ولذلك يجب الاحتياط عند استخدامها. وبعد ٤-٥ سنوات من استخدام مزرعة الحصى ينصح باستبدال حصى المزرعة بحصى جديد ونقى.

مزايا وعيوب مزارع الحصى:

المزايا:

١- انتظام رى وتغذية النباتات.

٢- يمكن أن تتم عمليات الرى والتغذية أوتوماتيكيًا بسهولة.

٣- تهوية جيدة لجذور النباتات.

٤- تناسب العديد من المحاصيل.

٥- تصلح للإنتاج التجارى للمحاصيل التى تزرع داخل أو خارج الصوب الزراعية.

٦- استخدام الماء والمغذيات بكفاءة نتيجة لإعادة استخدام المحلول وتدويره.

العيوب:

١- ارتفاع تكاليف الإنشاء والصيانة والإصلاح.

٢- قد ينشأ عن تشغيل النظام أوتوماتيكيًا بعض الأعطال.

٣- من أكثر المشاكل تخلف كثير من جذور النباتات فى الحصى بعد حصاد المحصول مما يؤدى إلى انسداد أنابيب الصرف. ونتيجة لتراكم الجذور أيضًا تزداد قدرة البيئة على حفظ الماء، وبالتالى تقل الفترات بين الريات كل سنة وبمضى الوقت تفقد مزرعة الحصى مزاياها بالنسبة للزراعة فى الأرض الطبيعية.

٤- بعض الأمراض مثل الفرتسيليوم والفيزاريوم يسهل انتقالها بسرعة نتيجة إعادة استخدام المحلول.

ثانياً: المزارع الرملية Sand Cultures

يعتبر الرمل من أقدم وأفضل المواد التي يمكن استخدامها فى بيئات الوسط الحبيبى الصلب حيث استخدمت فى بداية القرن التاسع عشر ومازالت تستخدم حتي الآن في المناطق الصحراوية من الشرق الأوسط وشمال إفريقيا. وبالطبع فإن نجاح الرمل كبيئة زراعية يرجع فى الأساس إلى صفاته الطبيعية والكيماوية التي تتوافق مع صفات البيئة الجيدة. ويجب مراعاة ألا يكون الحجر الجيرى هو مادة الأصل للرمل حيث يحتوي الرمل

في هذه الحالة على نسبة مرتفعة من كربونات الكالسيوم مما يؤدى إلى ترسيب الفوسفات فى المحلول المغذى. وفى حالة الضرورة لاستخدام الرمال المحتوية على نسبة من كربونات الكالسيوم يتم غلسله عدة مرات بالحامض المخفف حتي يتم التخلص منها، ثم يشطف بالماء العذب للتخلص من بقايا الحامض. كما أن رمال الشواطئ لا تصلح للاستخدام كبيئة زراعية فى المزارع اللاأرضية لاحتوائها على نسبة مرتفعة من الأملاح، وفى حالة وجود ضرورة لاستخدامها فإنه لابد من غسلها جيداً بالماء العذب والتخلص تماماً من ماء الغسيل. لذلك فإنه من الأنسب استخدام الرمال ذات الأصل الجرانيتى أو السليكاتى .

وأقطار حبيبات الرمل عامل هام فى نجاح استخدامه. فمن المعروف أن حبيبات الرمل الخشنة جداً لا تحتفظ بقدر كاف من الرطوبة لقلة مساحة السطوح الخاص بها، كما أن الرمل الناعم جداً لا يسمح بدرجة كافية من التهوية. وللموازنة بين هذين العاملين (الاحتفاظ بالرطوبة وجودة التهوية) فإنه يجب أن تكون حبيبات الرمل فى الوسط ذات أقطار مختلفة ومتدرجة فى الحجم وليست كلها من حجم واحد بل تكون فى حدود ٠,٦ – ٢,٠ مم ويتم استبعاد الحبيبات الأقل أو الأكبر من ذلك.

إنشاء المزارع الرملية :

توجد ثلاثة طرق لإنشاء المزارع الرملية :

الطريقة الأولى : وفيها يتم تبطين المراقد بالبلاستيك .

الطريقة الثانية : وفيها يتم فرش الرمل على امتداد أرضية الصوبة المغطاة بالبلاستيك.

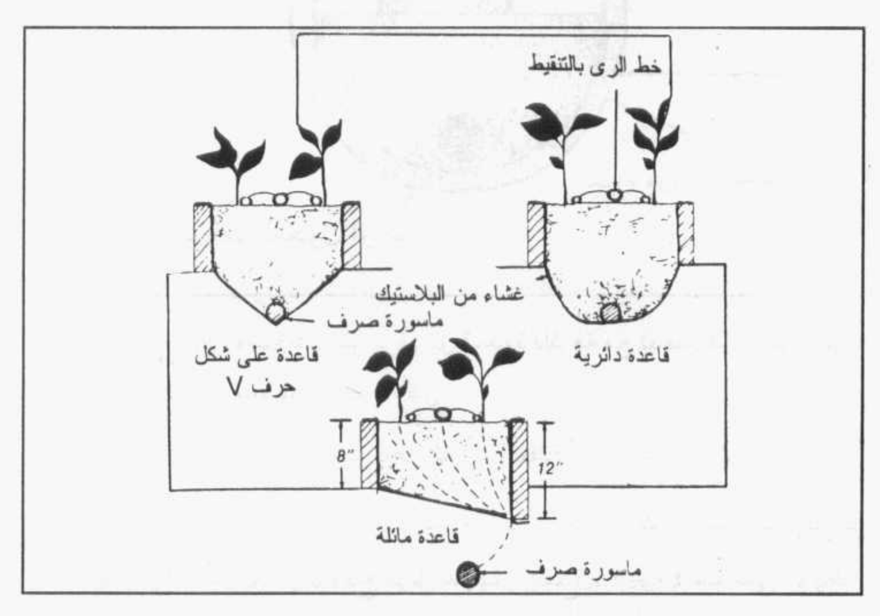
الطريقة الثالثة : وفيها يعبأ الرمل فى أكياس من البلاستيك ثم ترتب أفقياً على أرضية الصوبة .

الطريقة الأولى : المراقد المبطنة بالبلاستيك

وفيها يتم بناء مراقد نمو النباتات بطريقتين :

١ – **فوق سطح الأرض** : ومثلها فى ذلك مثل مزارع الحصى. وفيها تصنع المراقد من الخشب الذى يبطن بالبولى إيثيلين السميك. ويكون قاع المرقد ذو انحدار

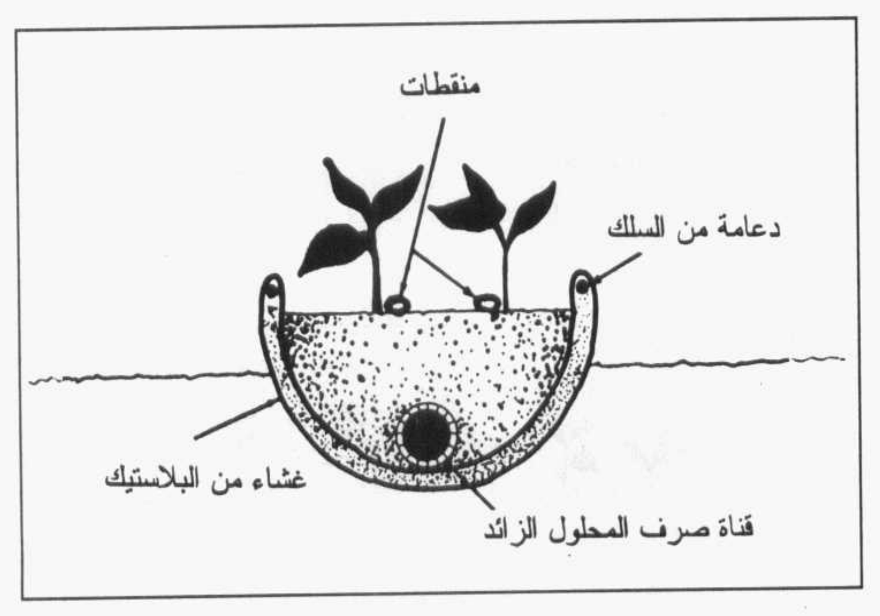
خفيف (١٥سم لكل ٦٠ متراً) ليسهل عملية الصرف والغسيل عند الضرورة. ويوضع فى قاع المرقد ماسورة تعمل كمصرف وليس من الضرورى أن يكون قطرها ٧,٥ سم كما فى مزارع الحصى، حيث إن كمية المحلول المغذى المضافة لا تتجاوز ٨-١٠٪ من كمية المحلول المضافة في كل رية. وكما هو الحال فى مزارع الحصى فإن أنبوب الصرف يوجد عليه ثقوب كل حوالى ٤٥ سم، وهذه الثقوب تكون على السطح السفلى للأنبوبة والمواجهة لقاع المراقد. ويتراوح عرض المرقد ما بين ٦٠-٧٥سم، والعمق ما بين ٣٠-٤٠ سم وقاع المرقد من الممكن أن يكون مستويا "أو مستديراً" أو على شكل حرف (V)، وتكون ماسورة الصرف فى المنتصف فى كل الأحوال (شكل ١٠-١٧).



شكل (١٠-١٧) : قطاع عرضي لعدد من مراقد النمو ونظام الرى بالتنقيط

٢- **تحت سطح الأرض**: عن طريق عمل قناة فى الأرض مع وضع سلك للتثبيت على جانبيها بارتفاع حوالى ٥ سم فوق سطح الأرض وعلى هذا السلك يتم طى شرائح من البولى إيثيلين مكونة حاجز أو جدار مزدوج ما بين مرقد الرمل والأرض المحفور بها هذا المرقد (شكل ١٠ - ١٨). وعملية رفع حواف المرقد فوق سطح

الأرض يمنع امتزاج الأرض مع رمل المرقد بالإضافة إلى تدعيم جوانب المرقد بما يمكن معه الاستغناء عن استخدام الخشب والذى يكون مكلفاً فى المساحات الواسعة والمناطق الصحراوية.



شكل (١٠-١٨) : قطاع عرضي لمرقد ذي قاعدة دائرية مع تدعيم الجوانب تحت ٥ سم من سطح الأرض

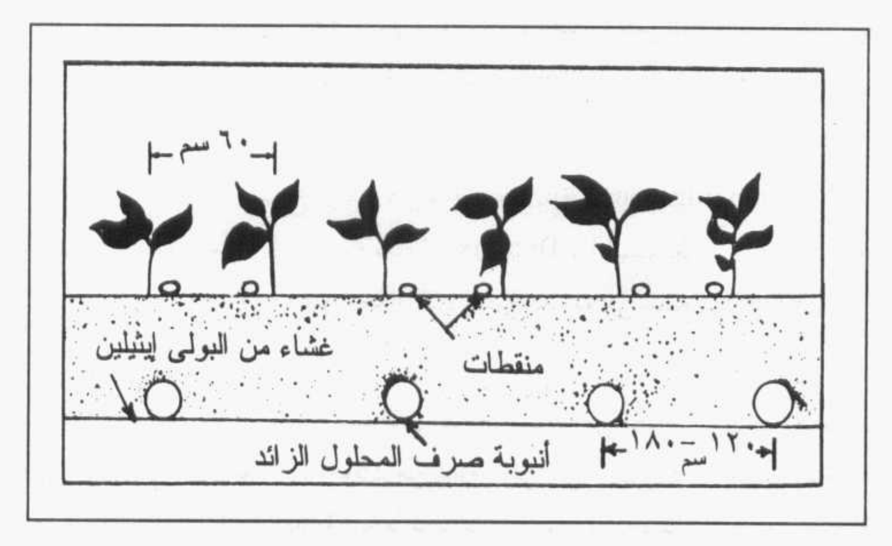
الطريقة الثانية : فرش الرمل على أرض الصوبة المغطاة بالبلاستيك

يمكن تقليل تكاليف إنشاء المزارع الرملية عن طريق تغطية أرضية الصوبة بشرائح من البولى إيثيلين السميك، ويتم وضع الرمل عليها بارتفاع ٣٠ - ٤٠ سم على أن يكون ميل أرضية الصوبة فى حدود ١٥ سم لكل ٣٠ متراً لتسهيل عملية الصرف .

ولتحقيق ذلك فإنه يتم تسوية أرضية الصوبة وكبسها جيداً بما يوفر الثبات للأرضية وبالميل المطلوب، ثم تفرد شرائح البولى إيثيلين على المساحة المراد تغطيتها بالرمل والتي يراعي فيها أن تكون متداخلة مع بعضها لمنع وجود فواصل بينها خاصة ، وأنه يتعذر وجود شرائح من البلاستيك بعرض يغطى كل عرض مساحة أرضية المزرعة. ثم توضع

مواسير الصرف (قطرها ٣-٥ سم) على سطح البولى إيثيلين على مسافات بين كل ماسورة وأخري فى حدود ١٢٠ -١٨٠ سم (ويتوقف ذلك على طبية الرمل المستخدم، فكلما كانت الحبيبات ناعمة كلما قلت المسافة بين المواسير)، وهذه المواسير تكون فى خطوط متوازية مع ميل سطح الأرض، وتصب فى النهاية فى مصرف مجمع يتم فيه تجميع المحلول المغذى واستخدامه فى أغراض أخرى خارج الصوبة.

وبعد وضع المواسير يتم فرش الرمل على كامل المساحة وبعمق لا يقل عن ٣٠ سم لتجنب مشاكل عدم انتظام الرطوبة أو احتمال امتداد جذور النباتات إلى داخل أنابيب الصرف. ويراعي أن يتم تسوية سطح الرمل وإعطاؤه نفس ميل سطح الأرض (شكل ١٠-١٩).



شكل (١٠-١٩) : قطاع عرضي لأرضية صوبة تم فرشها بالكامل ببيئة الرمل

الطريقة الثالثة : تعبئة الرمل فى أكياس من البلاستيك

وفى هذه الطريقة يتم تعبئة الرمل المراد استخدامه فى الزراعة اللاأرضية فى أجولة أو أكياس من البلاستيك السميك ذات اللون الأبيض للاستخدام صيفا أو اللون الأسود للاستخدام شتاء وبطول من ٦٠ - ٩٠ سم وقطر من ٢٥ - ٣٥ سم. تربط أو تلحم

فتحة كل جوال أو كيس ثم ترص أفقيا فى صفوف متوازية على أرضية الصوبة وعلى مسافات تتناسب مع مسافات الزراعة للمحاصيل المراد زراعتها.

وعلى خط المنتصف للسطح العلوي لهذه الأكياس يتم عمل فتحات لوضع البادرات بمسافات الزراعة المناسبة للمحصول المنزرع على أن تكون هذه الفتحات ذات قطر مناسب لحجم البادرة. وفى هذا النوع من المزارع لا توجد مواسير للصرف بل يكتفى بعمل فتحات صغيرة فى الجانب الملامس للتربة لصرف الماء الزائد.

رى المزارع الرملية :

عادة ما تروي المزارع الرملية بالنظام المفتوح Open system حيث يضاف المحلول المغذى إلى الرمل بمعدل يسمح برشح ٨-١٠٪ من كمية المحلول المضاف. والمحلول المنصرف لا يعاد استخدامه فى الري مرة أخرى، وهذا بعكس النظام المغلق Closed System الذى يستخدم فى مزارع الحصي حيث يعاد استخدام وتدوير المحلول المغذى باستمرار.

وأفضل الطرق لري المزارع الرملية هو نظام الري بالتنقيط Drip irrigation وفيه يتم تغذية كل نبات بمفرده باستخدام نقاطات Drippers أو أنابيب تغذية مثقبة تسمح بتصريف كمية معينة من المحلول خلال فترة زمنية محددة إلى سطح الرمل وبالقرب من قاعدة النبات.

ويتوقف معدل الري وطول فترة الري على مجموعة من العوامل منها نوع النبات، مرحلة النمو، حالة الطقس، والوقت من اليوم. وفى كل الأحوال فانه يجب استخدام جهاز التنشوميتر Tensiometer لتحديد موعد الري والذى يتم بما يسمح بصرف مالا يزيد عن ٨ - ١٠٪ من كمية المحلول المضاف فى كل دورة ري وهذا يمكن تحديده بقياس كمية المحلول المار خلال الخط الرئيسى وتلك التي تنساب من خط الصرف الرئيسى. ويمكن استخدام ساعة ميقاتية Timer وتنشوميتر لضبط طول فترة الري وفى هذه الحالة يكون عدد مرات الري من ٢ - ٥ مرات يوميا.

ويتم كل أسبوعين تحليل مياه الصرف لمعرفة محتواها الكلى من الأملاح، فإذا زاد

تركيز الأملاح فى ماء الصرف عن ٢٠٠٠ جزء فى المليون فإن المرقد كله يتم غمره بالماء العذب للتخلص من هذه الأملاح. ويجب ملاحظة أنه إذا كان ماء الرى لا يحتوي على تركيز مرتفع من الصوديوم فانه يمكن استخدام هذا الماء فى رى النباتات حتي تقوم النباتات نفسها خلال بضعة أيام بخفض محتوى المرقد من الأملاح إلى الدرجة التي يمكن بعدها استخدام المحلول المغذى فى الرى مرة أخري.

وعند استخدام الحاقنات فى الرى يجب أن يختبر مرتين أسبوعيا لمعرفة مدى كفاءتها فى العمل والتأكد من أن كل حاقن يعطى الكمية المطلوبة من السماد المركز في ماء الرى. أما عند استخدام تنكات التخزين الكبيرة بدون حاقنات فيجب التأكد من أن حجم التنك كافيا لإعطاء كمية الماء اللازمة لكل نبات لمدة أسبوع على الأقل.

وحيث إن نظام الرى والتغذية فى المزارع الرملية نظام مفتوح فليس هناك ضرورة لمتابعة التغير فى تركيب المحلول المغذى فى تنك التخزين ولكن يجب قياس رقم الـ pH لهذا المحلول على فترات خاصة إذا كان ماء الرى قلوى التأثير، كما أنه لا توجد ضرورة لغسيل تنك التخزين بانتظام كما هو الحال فى مزارع الحصى، ولكن يمكن أن يكون ذلك عند الضرورة وعلى فترات للتخلص من أى رواسب أو شوائب مترسبة من الأسمدة. وعندما يتم سحب كل المحلول المغذى من التنك تحضر كمية أخري طازجة من المحلول المغذى.

تعقيم بيئة المزارع الرملية

يتم تعقيم بيئات الرمل عن طريق استخدام طريقة التدخين Fumigation والتي تعمل على التخلص من أي أمراض مصدرها الأرض أو من النيماتودا وإن كان لا يمكنه تخليص الرمل من فيرس موزايك الدخان Tobaco Mosic virus II (CMVII) أو فيرس موزايك الخيار(Cucumber mosic virus II (CMVII ويوجد مادتان من المواد المدخنة Fumigants يمكن استخدام أحدهما بنجاح.

الأول : هو الـ Vapam والذى يضاف مع نظام الرى.

الثانى : بروميد الميثيل Methyle والذى يوضع من خلال نظام الصرف تحت ضغط وفى كلتا الحالتين يتم تغطية كامل مساحة مرقد الزراعة بالبولى إيثيلين قبل وضع المادة المدخنة.

وعند استخدام الـVapam مع ماء الرى فإنه يجب التخلص جيداً منه بالغسيل بماء نقى ولا تتم الزراعة فى البيئة إلا بعد ٤-٥ أيام من عملية التعقيم بالتدخين.

ولتخليص الرمل من TMV or CMVII يستخدم التعقيم بالبخار، فإذا كانت الصوبة بها نظام تسخين بالماء المغلى فإنه يمكن استخدام هذا النظام فى توليد بخار الماء لتعقيم المراقد حيث يتم ضخ البخار من خلال نظام الصرف إذا كان النظام المستخدم يتلاءم مع ذلك. وتوجدوسيلة أخري يمكن استخدامها فى التعقيم بالبخار تعرف بنظام التعقيم المتنقل، وفيها يتم وضع أنبوبة على عمق عدة بوصات من سطح الرمل وتغطى بشريحة من البولى إيثيلين قبل ضخ البخار وبعد الانتهاء من علمية التعقيم تنقل هذه المواسير إلى مرقد آخر لتعقيمه وهكذا..

مزايا وعيوب المزارع الرملية

المزايــا :

يمكن حصر مزايا المزارع الرملية مقارنة بمزارع الحصى فيما يلى :

١ - استخدام النظام المفتوح Open system فى التغذية يقلل من انتشار أمراض الفيوزاريوم والفرتيسليوم فى البيئات بدرجة كبيرة.

٢ - تقل مشاكل انسداد أنابيب الصرف حيث إن كثافة بيئة الرمل تشجع الانتشار الأفقى للجذور.

٣ - نعومة حبيبات الرمل تشجع الحركة الجانبية أو الأفقية للماء خلال الخاصة الشعرية مما يضمن توزيع جيد للمحلول المغذى فى وسط النمو.

٤ - يمكن ضمان تهوية جيدة للجذور من خلال الاختيار الصحيح لحجم حبيبات الرمل ليتوافق مع نظام الرى بالتنقيط .

٥ – يتم تغذية كل نبات على حدة بمحلول مغذى جديد خلال كل دورة رى، وبالتالى لا يوجد مشاكل عدم اتزان بين المغذيات.

٦ – النظام بسيط، سهل الصيانة والخدمة، وتكاليف الإنشاء أقل من مزارع الحصى التى تروي بالرى تحت السطحى.

٧ – نظرالصغر أقطار حبيبات الرمل، فإن له قوة مسك للماء مرتفعة وبالتالى فإن عدد الريات المطلوبة خلال اليوم تقل. وإذا حدثت مشاكل فى نظام الري فإن كمية الرطوبة الموجودة بالبيئة تكفى لضمان حياة النبات حتي يتم الإصلاح.

٨ – يمكن وضع خزانات المحلول أو الحاقنات فى أماكن بعيدة عن مراقد النمو.

٩ – يتوفر الرمل فى معظم المواقع مما يتيح الفرصة لإنشاء مثل هذه المزارع، وعند استخدام رمل جيرى يمكن تعديل تركيب المحلول بما يمسح بمعادلة تغيرات pH المحلول ونقص الحديد أو بعض العناصر الأخري.

العيوب :

أما عيوب المزارع الرملية مقارنة بمزارع الحصى فهي :

١ – أحد العيوب الكبري هي ضرورة استخدام الكيماويات والبخار لتعقيم البيئة ما بين محصول وآخر.

٢ – انسداد خطوط الري بالتنقيط بالرواسب وهذا يمكن التغلب عليه باستخدام فلتر ١٠٠ – ٢٠٠ مش والذى يمكن تنظيفه بين فترة وأخرى.

٣ – بعض الاعتراضات تقول إن المزارع الرملية تستهلك مقداراً أكبر من الأسمدة والماء بعكس مزارع الحصى والتي يعاد فيها استخدام المحلول المغذى أكثر من مرة.

٤ – يمكن أن تتراكم الأملاح فى المراقد خلال موسم النمو وهذا يمكن تصحيحه عن طريق الغسيل على فترات بواسطة الماء العذب.

ثالثا : الزراعة فى بيئات الألياف Fibers Agriculture

تعتبر الألياف المصنعة من المعادن والصخور أو المخلقة كيميائياً فى صورة خيوط Fi-bers وعلى هيئة وشكل الصوف Wool من البيئات الجديدة فى عالم الزراعة اللاأرضية، حيث تفيد فى زراعة كثير من النباتات بها حتى الحصول على المحصول بنجاح كبير، فبيئات النمو الجديدة هذه تعتبر نموذجاً للبيئات الصناعية المناسبة للمزارع اللاأرضية، حيث تقوم بالإضافة إلى تثبيت النباتات النامية فيها إلى توفير مستوى مناسب من الأكسيجين وتحتفظ بقدر من الماء، بالإضافة إلى تميزها بمعدل صرف جيد، ووجود كل هذه العوامل مجتمعة فى بيئة النمو يجعلها مثالية لنمو النبات وانتشار جذوره، بالإضافة إلى ذلك فإن هذه الألياف تعتبر مواد خاملة Inert materials فالمادة الخاملة فضلاً عن أنها لا تتفاعل مع العناصر المغذية للنبات فإنها تعطى للمزارع الفرصة فى التحكم الكامل في عملية التغذية، ومن هذه الألياف فى العالم اليوم بيئة الصوف الصخرى Rockwool، ونوع من الألياف يعرف لأول مرة فى مصر هو صوف الخبث المصرى Slagwool، بالإضافة إلى الصوف الزجاجى Glasswool، والفوم الزراعى Aggrofoam ونسيج صناعى مصنع من البولى إستر يسمى « الفليس Fleece » .

١ - الصوف الصخرى Rockwool

الصوف الصخرى عبارة عن خيوط أو ألياف مصنعة من الصخور البركانية Volcanic rocks، وبصفة خاصة الـ Diabase (بنسبة ٦٠٪) مع الحجر الجيرى Lime stone (بنسبة ٢٠٪) وفحم الكوك Coke (بنسبة ٢٠٪)، يتم صهر هذا الخليط على درجة حرارة تتراوح ما بين ١٥٠٠ - ٢٠٠٠ درجة مئوية حسب مكونات المخلوط، وعادة ما تكون درجة حرارة ١٦٠٠ درجة مئوية مناسبة لهذا الغرض، وهذه المادة المنصهرة تتحول عن طريق الطرد المركزى السريع والتبريد إلى خيوط رفيعة قطرها ٥ ميكرون يتم ضغطها إلى رقائق بالسمك المطلوب، وأثناء التبريد يتم إضافة الفينول لخفض التوتر السطحى والذى يعمل كمادة لاصقة لخيوط الصوف الصخرى مكونة بيئة اسفنجية أو مسامية Spongy material.

والتركيب الكيماوى للصوف الصخرى يختلف باختلاف مناطق تصنيعه، وإن كان متوسط مكوناته الأساسية عبارة عن أكسيد السليكون بنسبة ٤٥٪، وأكسيد الكالسيوم بنسبة ١٥٪، وأكسيد الألومنيوم بنسبة ١٥٪، وأكسيد الحديد بنسبة ١٠٪، وأكسيد الماغنسيوم بنسبة ١٠٪، وأكاسيد أخرى بنسبة ٥٪.

والصوف الصخرى لا تشكل المادة الصلبة به سوى ٣٪ فقط، وبالتالى فإن المسافات البينية التى تحوى الماء والهواء تمثل ٩٧٪ (تكون فى حالتها المثلى عند التشبع بالماء ورشح الزائد منه) ، موزعة إلى ١٤٪ للهواء و٨٣٪ للماء، مما يجعله بيئة جيدة لنمو وانتشار الجذور.

ويجهز الصوف الصخرى فى عدة تجهيزات أو أشكال يوضحها شكل (١٠ - ٢٠) تختلف على حسب الغرض المطلوب من استخدامها.

وسوف نستعرض أهم هذه الأشكال واستخداماتها فيما يلى:

أ - مكعبات الإنبات Propagation Cubes

ارتفاعها من ١,٥ - ٢,٥سم، وقطر ٢,٥ سم تقريباً وتستخدم فى بداية إنبات كل من الخس والخضروات الورقية ونباتات الزينة، وتوجد هذه المكعبات فى صورة فردية أو فى صورة مجمعة.

ب - بلوكات الإنبات Propagation Blocks

وتنقل إليها مكعبات الإنبات الصغيرة وما بها من بادرات، أو تنقل إليها الشتلات الصغيرة مباشرة، ووحداتها عبارة عن مكعبات توجد فى حجمين ٧,٥ X ٧,٥ X ٧,٥سم، و١٠ X ١٠ X ٧,٥سم (والارتفاع فى كلاهما ٧,٥سم)، وعندما تصل النباتات بها إلى الحجم المناسب يتم نقلها إلى وسائد النمو.

ج - وسائد النمو Growing Slabs

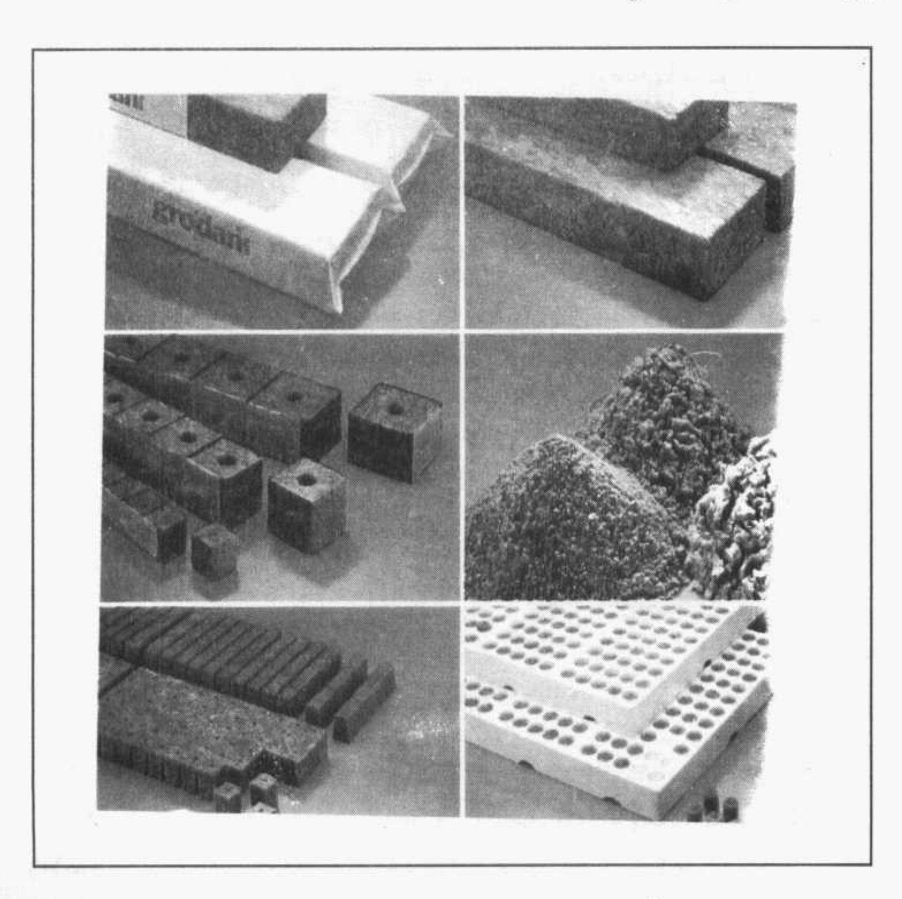
وبها يكمل النبات فترة نموه حتى المحصول الكامل، وتوجد وسائد النمو فى حجمين (الأطوال بالسنتيميتر) ٧,٥ ارتفاع X ١٥ عرض X ٩٠ - ١٥٠ طول، وهى مناسبة لنباتات الطماطم والفلفل وكثير من محاصيل الخضر والزينة أو ٧,٥ X ٢٠ X ٩٠ - ١٥٠ (ارتفاع X عرض X طول)، وتستخدم أكثر مع نباتات الخيار، حيث تحتاج إلى

حيز أكبر لنمو الجذور .

ويجب ملاحظة أن أحجام الثلاثة أشكال السابقة ليست ثابتة بل يمكن أن تتغير من مكان لآخر حسب ظروف التصنيع وتطور البحوث وطلبات الزراع .

د - الصوف الصخرى السائب Loose Rock Wool

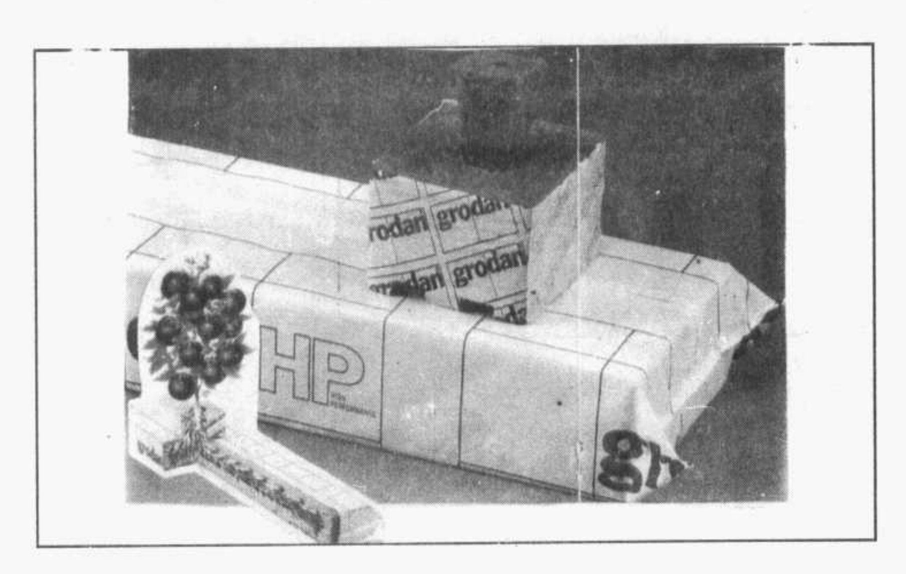
ويستخدم كبيئة معبأة فى أصص أو تخلط مع بعض البيئات الأخرى لتحسين خواص التهوية والاحتفاظ بالماء بها بنسبة الثلث حجماً، أو يخلط مع التربة بنسب تتراوح ما بين ٢٥ - ٦٠٪ كمحسن .



شكل (١٠ - ٢٠): أشكال تجهيزات الصوف الصخري للاستخدام الزراعي (سائب - مكعبات إنبات بأحجام مختلفة - وسائد النمـو)

وتشكل خيوط الصوف الصخرى رأسياً (فى حالة مكعبات وبلوكات الإنبات) للمساعدة على اختراق جذور البادرات لأسفل، وأفقياً (فى وسائد النمو) لإتاحة الفرصة أمام جذور النباتات للانتشار فى أكبر حيز ممكن، وهذا ما يوضحه شكل (١٠ - ٢١) .

ومما يجب التنبيه إليه أن مكعبات وبلوكات الإنبات وكذلك الصوف الصخرى السائب المعبأ فى أصص مثقبة تستخدم فى إعداد وتجهيز البادرات لكل أنواع المزارع اللاأرضية بنجاح .



شكل (١٠ - ٢١) : يوضح كيفية وضع مكعبات الإنبات علي وسائل النمو وكيفية انتشار الجذور بينهما

مزايا الصوف الصخرى المعد للاستخدام الزراعى :

يتميز الصوف الصخرى الزراعى بمزايا عديدة :

١ - مادة خاملة ممتازة لا تتحلل ولا تتكسر بيولوجياً مما يهيئ ظروف جيدة لنمو النباتات التى تمكث به لفترات طويلة مثل : الورود Roses التى تنمو به لعدة أعوام بنجاح .

٢ – مادة جافة وليس بها أى مواد سائلة مغذية أو غير مغذية، ورقم الحموضة له يقع بين ٧ – ٨ درجة.

٣ – مادة معقمة وخالية تماماً من الآفات والحشرات والأمراض.

٤ – قدرته التنظيمية ضئيلة أو منعدمة وليس لأسطح خيوطه القدرة على ادمصاص العناصر، ومن ثم فليس له أى تأثير على تغير خواص المحلول.

٥ – مادة خفيفة جداً (كثافتها ٠,٠٧٥ جرام/سم٣) وفى الوقت نفسه صلبة Rigid material مما يجعل التعامل معها سهلاً فى الإعداد والتجهيز والنقل، بالإضافة إلى عدم حاجتها إلى تجهيزات أو قنوات خاصة مما يقلل استهلاك الوقت والجهد والمال.

٦ – مادة مناسبة جداً لنمو وانتشار الجذور نظراً لمساميتها الشديدة (٩٧٪ مسام) ولا تمثل ضغطاً على النبات Minimizing plant stress.

٧ – اختصار الوقت وتوفير الحيز المتاح من الأرض تحت الصوبة أو خارجها باستخدام مكعبات وبلوكات الإنبات.

٨ – سهل التخلص من ترسيبات الأملاح بها فى حالة استخدام ماء به نسبة مرتفعة قليلاً من أملاح الصوديوم بالغسيل، حيث إن طريقة الزراعة به من نوع النظام المفتوح Open system أو ما يطلق عليه طريقة «الإمرار حتى الفقد Run - To - Waste» والتى تتم بسهولة ويسر لما يتمتع به من قدرة عالية على صرف أى زيادة من المحلول.

٩ – سهل التعقيم والاستخدام لأكثر من عام.

١٠ – يمكن استخدام الصوف الصخرى السائب أو المحبب Granulates كمحسن طبيعى للتربة Soil conditioner للأراضى الرملية أو للأراضى الطينية الثقيلة.

عيوب الصوف الصخرى

عيوب الصوف الصخرى قليلة وتتمثل فى:

١ – يجب الاحتياط عند التعامل مع الصوف الصخرى بلبس قفاز مع أكمام طويلة، حيث يسبب إثارة للجلد، ويمكن التغلب على هذه المشكلة بترطيب الصوف

الصخرى قبل التعامل معه أو استخدامه.

٢ - بعض المحاصيل حساسة للزراعة فى وسائد النمو التى سبق زراعة محاصيل بها من قبل مثل: محصول الخيار، وفى هذه الحالة تستخدم الوسائد لسنة واحدة فقط.

٢ - صوف الخبث المصرى Egyptian Slagwool

الخبث عبارة عن مخلفات Waste materials تنتج من مصانع الحديد والصلب بحلوان وتسمى جلخ محولات الصلب Slag، وتستخدم الآن فى بعض مصانع الطوب الأسمنتى، ولكن بدأ مؤخراً إعادة صهره على درجات حرارة عالية وتشكيلة فى صورة منتج جديد يستخدم كعازل حرارى يسمى صوف الخبث Slagwool.

ويتركب خبث المعادن Slag من أكسيد الكالسيوم ٣٧٪، وأكسيد السليكون بنسبة ٣٤٪، وأكسيد الألومنيوم ١٣٪، وأكسيد الماغنسيوم بنسبة ٥٪، وأكسيد الحديد بنسبة ١٪، وأكاسيد أخرى بنسبة ١٠٪.

وصوف الخبث Slagwool الناتج من الخبث يبلغ الحد الأقصى لقطر خيوطه ٨ ميكرون ويمكن اعتباره بيئة نمو جيدة من خلال التجارب الأولية التى قام بها Sherif وآخرون سنة ١٩٩٣ على هذا المنتج مقارنة ببعض بيئات الزراعة اللاأرضية الأخرى مثل البرليت - الفيرميكيوليت بالإضافة إلى الصوف الصخرى شكل (١٠ - ٢٢).

ويتميز صوف الخبث Slagwool بكل ما يتميز به الصوف الصخرى Rockwool من صفات مع بعض الفروق التى تظهر من خلال النقاط التالية:

١ - سعة احتفاظ صوف الخبث بالماء (بعد ٢٤ ساعة من التشبع بالماء ورشح الزائد) يبلغ ٩٣٦٪ مقابل ٦٥٤٪ للصوف الصخرى.

٢ - رقم الحموضة أو رقم الـ pH ٧,٤ فى مستخلص ١ : ٢٠ ماء مقطر (بعد ٤٨ ساعة) مقابل ٧,٨٥ للصوف الصخرى.

٣ - التوصيل الكهربى ٤٠ ميكروموز/سم مقابل ٢٠ ميكروموز/سم للصوف الصخرى.



شكل (١٠ – ٢٢): نمو نباتات الطماطم في بيئة صوف الخبث المصري مقارنة بنموها في بيئات البرليت – الفيرميكيوليت – والصوف الصخري

٤ – الكثافة الظاهرية ٠,٠٨٥جم/سم٣ مقابل ٠,٠٥٧ جم/سم٣ للصوف الصخرى.

٥ – الفحص الميكروسكوبى وتحليل الاختلاف الحرارى أوضح أن خيوط صوف الخبث أكثر اندماجاً وأكثر ثباتاً من خيوط الصوف الصخرى، ومما يشجع على الاهتمام بصوف الخبث المصرى كبيئة إنبات ونمو، ليس فقط نمو نباتات الطماطم به بشكل جيد، وإنما أيضاً ما أظهره من تبكير فى نضج ثمار النباتات النامية به بمقدار أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع مقارنة بنباتات الطماطم النامية فى الصوف الصخرى.

٣ - الصوف الزجاجى Glasswool

يصنع الصوف الزجاجى من رمل الكوارتز النقى Pure quartz sand الموجود فى كثير من صحارى العالم، وتتم عمليات التصنيع من خلال خمسة مراحل محددة شكل (١٠ - ٢٣):

١ - يتم تجميع المادة الخام وتوضع فى حاويات خاصة متصلة بفرن الانصهار.

٢ - تنتقل المادة الخام بعد التخلص من أى شوائب عالقة بها إلى فرن الانصهار حيث تخلط بالحجر الجيرى ويتم صهرها على درجة حرارة ١٤٠٠ درجة مئوية.

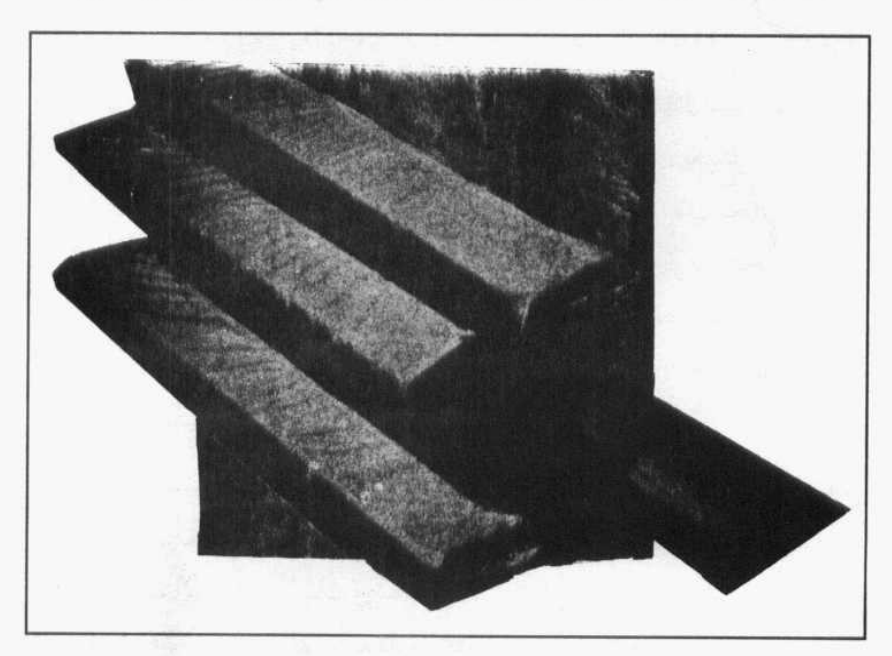
٣ - ينتقل هذا الخليط المنصهر إلى أوعية الغزل Spinning baskets ذات الجدر المثقبة والتى تدور بسرعة دوران عالية محدثة طرداً مركزياً قوياً يدفع المادة المنصهرة إلى الخارج من ثقوبها مكونة خيوط الصوف الزجاجى اللينة وفى صورة سهلة التشكيل Flexible glasswool fibers، وفى هذه المرحلة أيضاً تتعرض هذه الخيوط إلى ضغط مرتفع من الغاز يعمل على استطالة الخيوط وجعل كل منها فى صورة فردية.

٤ - تنقل الخيوط الفردية اللينة المتكونة من المرحلة السابقة من خلال سير ناقل متحرك Conveyer belt إلى فرن التقسية Hardening oven الذى يعمل على تقوية الخيوط وتجفيفها على درجة ٢٥٠ درجة مئوية، ثم بعد ذلك يحدث اندماج للخيوط بعضها ببعض مكونة حصيرة من الصوف الزجاجى، وتتحكم أجهزة الكمبيوتر فى المسافة بين إثنين من السيور الناقلة لخيوط الصوف الزجاجى وفى سرعتيهما داخل فرن التقسية (أحدهما سفلى والآخر علوى) وهو ما يحدد سمك وكثافة حصيرة الصوف الزجاجى الناتج.

٥ - تنتقل حصيرة الصوف الزجاجى إلى حيث المرحلة الأخيرة من مراحل التصنيع، وفيها يتم تقطيع حصيرة الصوف الزجاجى إلى الأشكال والمقاسات المطلوبة ومنها مكعبات وبلوكات الإنبات ووسائد النمو (شكل ١٠ - ٢٤)، ثم بعد ذلك يتم تغليف هذه المنتجات تمهيداً لعمليات التسويق والاستغلال.



شكل (١٠ - ٢٣) خطوات تصنيع الصوف الزجاجي من رمل الكوارتز النقي



شكل (١٠ - ٢٤) : وسائد الصوف الزجاجي مغلفة وجاهزة للاستخدام الزراعي

وللصوف الزجاجى مميزات عديدة تجعله بيئة نمو جيدة لكثير من النباتات التى تم زراعتها به مثل: الطماطم والخيار والفلفل والباذنجان والخس والجربيرا والورد والقرنفل والأعشاب الطبية والعطرية، ومن مميزات الصوف الزجاجى ما يلى:

١ – يمكن التحكم فى إنتاج الصوف الزجاج بدرجات مختلفة متدرجاً من الصوف الزجاجى الجاف إلى الرطب جداً على حسب متطلبات السوق.

٢ – التوزيع الجيد للماء فى الصوف الزجاجى وبشكل متجانس يساعد جذور النباتات على الانتشار أفقياً ورأسياً معطية قوة وكفاءة للمجموع الجذرى.

٣ – يحتوى الصوف الزجاجى على قدر جيد من الهواء مع قدرة تنظيمية كافية Suffi-cient Buffering Capacity، وهذا يعنى كفاية فى الأكسيجين ومقاومة للتغير السريع فى رقم PH المحلول مما يوفر بيئة مناسبة لنمو الجذور وامتصاص العناصر الغذائية من المحلول.

٤ – الصوف الزجاجى خفيف الوزن سهل الاستخدام مما يوفر الجهد والمال.

٥ – يمكن إعادة استغلال الصوف الزجاجى بعد استخدامه فى الزراعة Recycling خاصة فى المزارع التى تستخدم هذه البيئة على نطاق واسع، حيث يتم طحن وسائد ومكعبات النمو، ثم يتم تسخينها على درجة حرارة قدرها ٥٠٠ درجة مئوية وخلال عمليات التسخين هذه تنطلق بعض الغازات التى تتميز بقابليتها للاشتعال Inlemmable والتى تستخدم فى تدفئة الصوبة وفى تعقيم وسائد النمو الأخرى التى مازالت قابلة للاستخدام فى الزراعة.

وخيوط الصوف الزجاجى تنتج فى شكل خيوط رفيعة وناعمة Fine and Thin Fi-bers وأخرى خشنة وأكثر سمكاً Coarse and thick fiber شكل (١٠ – ٢٥)، والخيوط الرفيعة لها قدرة أكبر على الاحتفاظ بالماء (٩٠٪ ماء، ٥٪ هواء، ٥٪ لخيوط الصوف الزجاجى) أكثر من الخيوط الخشنة (٨٠٪ ماء، ١٥٪ هواء، ٥٪ لخيوط الصوف الزجاجى) مما يجعل الخيوط الرفيعة تقوم بدور تحسين خواص الاحتفاظ بالماء، بينما الخيوط الخشنة تعمل على تحسين خاصية التهوية والصرف الجيد، كما أن الخيوط الخشنة تعمل على تحسين الخواص الميكانيكية لوسائد الصوف الزجاجى، حيث يمكنها من

مقاومة الضغط الواقع عليها ويقلل من انضغاطها، فعند وضع ثقل قدره ١ كيلو جرام على وسادة من الصوف الزجاجى ذو الخيوط السميكة والخشنة فإنها تنضغط وينخفض ارتفاعها بمقدار ٠,٥ سم، بينما نفس الثقل على وسادة من خيوط الصوف الزجاجى الرفيعة والناعمة تنضغط أكثر ويقل ارتفاعها بمقدار ١,٥سم.

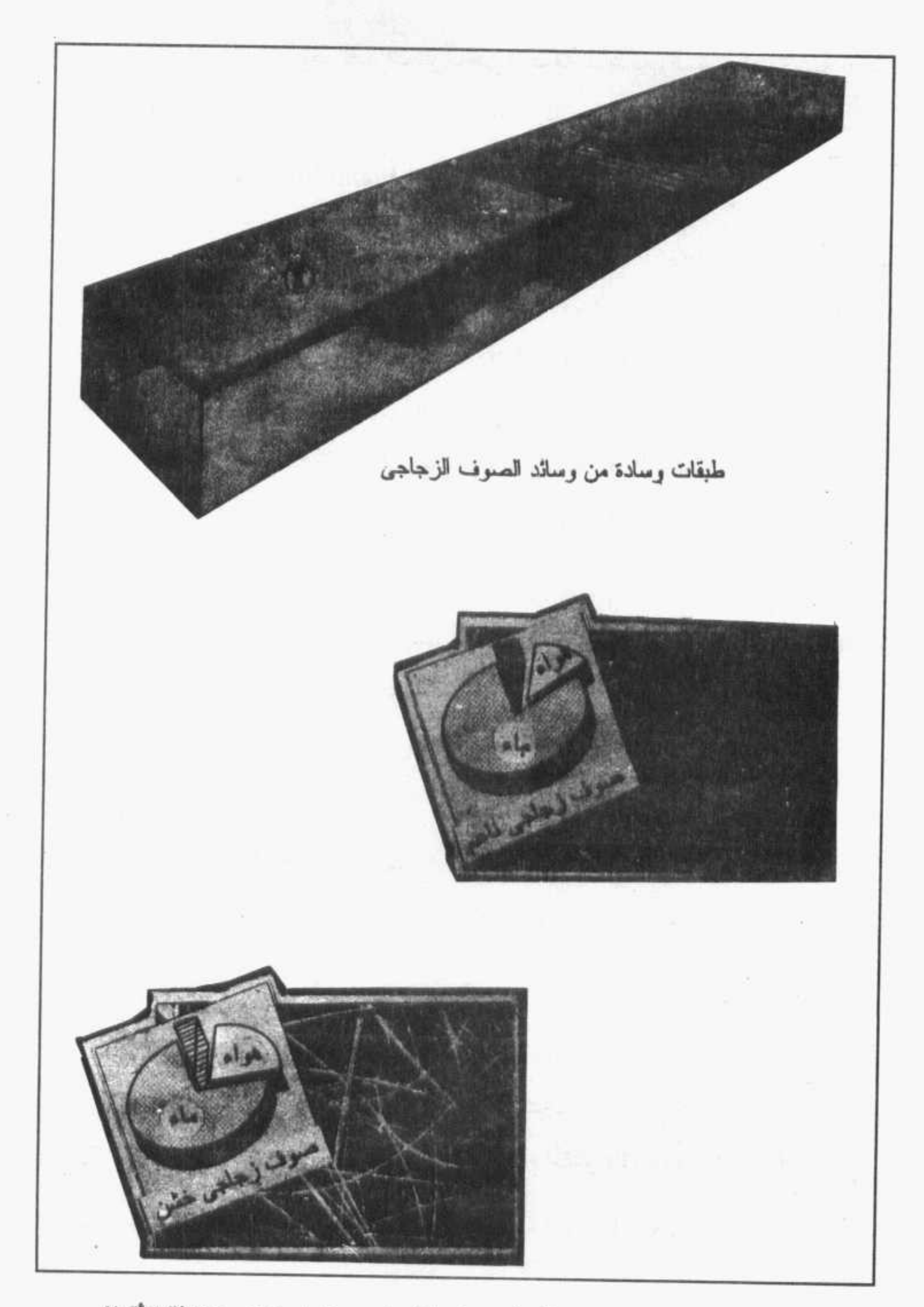
ومن هذه الخصائص الخاصة بخيوط الصوف الزجاجى أمكن تصنيع وسائد للنمو بطريقة تجمع كل من الخيوط الرفيعة والخشنة ليس مزجاً «كاملاً» بينهما ولكن بترتيب معين يجعل الوسادة مكونة من ٤ طبقات شكل (١٠ – ٢٥):

١ – **الطبقة الأولى**: هى الطبقة السطحية وتتكون فقط من الخيوط الرفيعة ذات المسام الصغيرة والضيقة Only fine fibers with small pores وسمكها قليل والتى تساعد على تحسين توزيع المياه أفقياً بنسبة ٢٠٪ تقريباً.

٢ – **الطبقة الثانية**: وهى الطبقة التى تلى الطبقة السطحية وتتكون من الخيوط الرفيعة والسميكة Mixture of fine and coarse fibers مع زيادة نسبية فى نسبة الخيوط الرفيعة فى اتجاه السطح العلوى مما يحسن من توزيع وانتشار الماء رأسياً ويجعل الاختلاف فى كمية الماء فى وسائد النمو فيما بين القمة والقاعدة قليل.

٣ – **الطبقة الثالثة**: وهى تلى الطبقة السابقة وتتكون أيضاً من الخيوط الرفيعة والسميكة مع زيادة نسبية فى نسبة الخيوط الخشنة والسميكة فى اتجاه السطح السفلى.

٤ – **الطبقة الرابعة**: وهى الطبقة السفلية والأخيرة وتتكون فقط من الخيوط الخشنة فى وجود ثقوب واسعة Only coarse fibers with big pores وسمكها قليل، حيث تساعد على سرعة الصرف وزيادة نسبة الهواء (الأكسيجين) فى الطبقة السفلى والذى وجد أن نسبته بها حوالى ٤٠٪ تحت ضغط –٣,٧٥سم، فى حين أن هذه النسبة فى وجود الخيوط الرفيعة تبلغ حوالى ١٥٪ فقط تحت ظروف التشبع والصرف.



شكل (١٠ – ٢٥): إعداد وسائد الصوف الزجاجي بتوليفات مختلفة الأقطار

وبهذه التوليفة من خيوط الصوف الزجاجى الرفيعة الناعمة والسميكة الخشنة أمكن الحصول على وسائد للنمو ذات مواصفات جيدة ومثالية لنمو النباتات بها.

٤ - ألياف الفوم Foam Fibers

سبق الحديث عن الفوم فى صورة الحبيبات أو Granules فيما يعرف بالبلاستيك المتمدد Expanded plastic كأحد البيئات الصلبة المستخدمة فى الزراعة اللا أرضية. ولكن الفوم أيضًا يصنع على شكل ألياف Foam fibers من مركبات البولى يوريثان Polyurethane بواسطة إحدى الشركات العاملة فى مجال الزراعة اللا أرضية بهولندا. والفوم الناتج عبارة عن ألياف تشبه القطن أو الصوف Flocks خاملة كيميائيًا، خفيفة الوزن، ثابتة التركيب والتكوين، لها القدرة على حفظ الماء والتخلص من الزيادة منه بنفس الدرجة (شكل ١٠ - ٢٦).

وهذا المنتج فى الصورة السائبة والمفككة يتم ضغطه فى صورة بلوكات متجانسة ذات كثافة محددة. وأثناء هذه العملية تتعرض خيوط الفوم لتيار من بخار الماء على ١٢٠ درجة مئوية، حيث تعمل على تعقيم البلوكات المجهزة من ناحية والعمل على ثبات بنائها من ناحية أخرى.

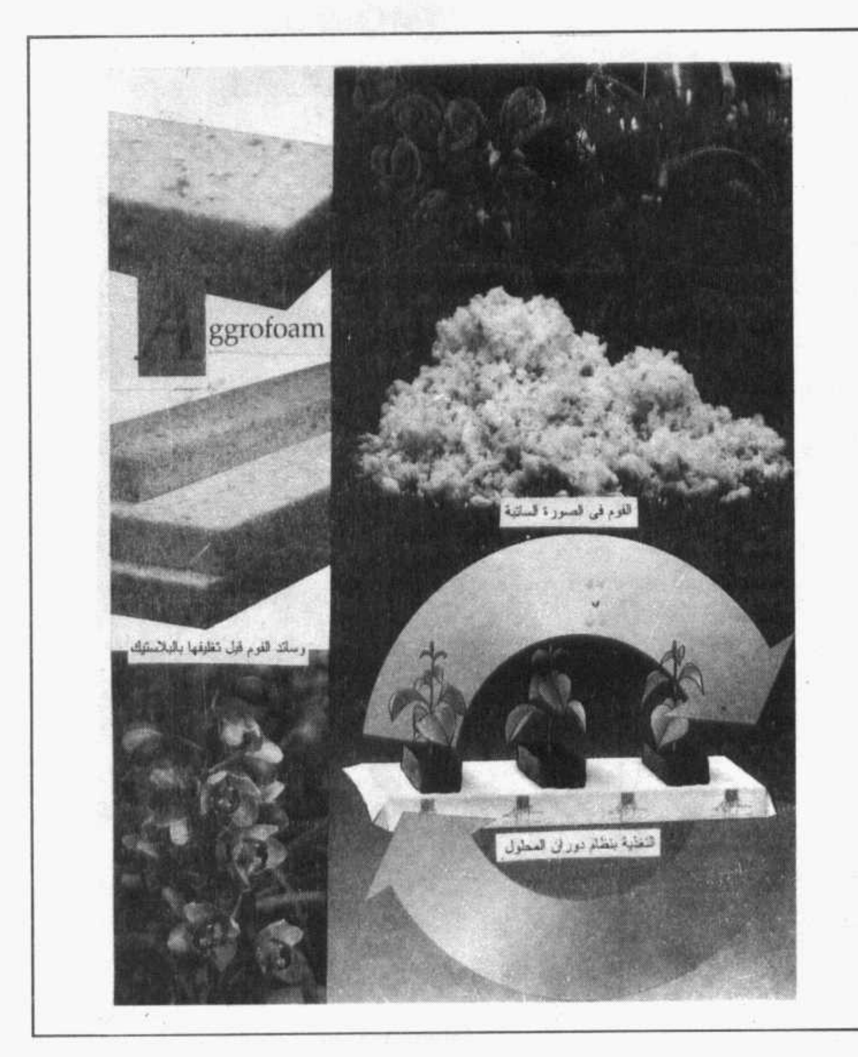
وبلوكات ووسائد الفوم تتميز بأنها:

١- بيئة جافة Dry Substrate تحتوى على نسبة مناسبة من الهواء إلى الماء Air/Water Ratio مما يشجع على تكوين مجموع جذرى قوى.

٢- ذات خواص صرف ممتازة بما يسمح بالتخلص من أى ترسيبات للأملاح بسهولة، وفى نفس الوقت تجعل منها بيئة مناسبة لاستخدام طريقة التغذية بالمحلول الدائر Recirculation system أو فيما يعرف بالنظام المغلق Close system.

٣ - بيئة متعادلة ولا تتأثر بتغير رقم الـpH أو درجة التوصيل الكهربى E.C مما يجعلها بيئة مثلى للنمو.

٤ - تستخدم لفترات طويلة (من ٥ - ١٠ سنوات).



شكل (١٠-٢٦) : الفوم في صورة سائبة ومجهزة في شكل وسائد للاستخدام الزراعي

٥ - سهلة التعقيم بالبخار ولا يحدث أى تغير فى الخواص أو فى الكفاءة نتيجة الاستخدام أو التعقيم .

٦ - بعد استخدامها فى الزراعة يمكن عمل Recycling لها مرة أخرى .

٥ - ألياف الكتان وألياف صناعية أخري

يعتبر الكتان من الألياف الطبيعة التي يمكن استخدامها كبيئة للزراعة اللاأرضية، ويعتبر الخيش الموجود فى الأسواق بيئة قابلة للاستخدام فيما يعرف بالزراعة المستوية. كما يمكن استخدام ألياف صناعية مخلقة من البوليمرات يطلق عليها اسم "فليس Fleece" والسلسلة الكيميائية له من البولى ايستر Polyester ، ولذلك يسمي "بولى إيستر فليس Polyester fleece" وهو من النوع المحب للماء ويعتبر بيئة للنمو. وقد استخدم هذا المنتج بواسطة Schroder سنة ١٩٨٧ بألمانيا كبيئة لنمو العديد من محاصيل الخضر وأعطى نتائج ممتازة. كما يستخدم ورق البيت Peat paper والفسكوس فليس Viscose fleece بالإضافة إلى أى مخلفات معدنية أو عضوية يمكن تشكيلها فى طبقات رقيقة. وتستخدم أى من هذه البيئات بين طبقتين من شرائح البلاستيك فيما يشبه السندوتش Sabdwich حيث تعمل الطبقة السفلى على منع تسرب الماء والمحلول المغذى والطبقة العليا تمنع البخر وتمنع نمو الطحالب. كما تعمل شرائح البلاستيك على حماية الجذور من أشعة الشمس صيفاً ولذلك يستخدم البلاستيك ذى اللون الأبيض، بينما يستخدم البلاستيك ذى اللون الأسود لتدفئتها شتاء.

نماذج لاستخدام بيئات الألياف فى الزراعة على المستوي التجارى

سبق الإشارة إلى بيئات الألياف وخواصها ومنها الصوف الصخري وصوف الخبث المصري والصوف الزجاجى وألياف الفوم والكتان وغيرها. والآن نعطى مثالاً لكيفية استخدام أى منها فى الزراعة والذى يتم بإحدى الطرق الآتية :

١ - مزارع النظام المفتوح Open System

يمكن اتباع الخطوات التالية لتنفيذ مزرعة من الصوف الصخرى أو أي بيئة ألياف أخري بنظام الـ Open sysetem فى الصوبة أو الحقل المكشوف:

١ - ترطيب مكعبات الإنبات قبل الاستخدام بـ ٢٤ ساعة وتكون موضوعة على طاولات من البلاستيك ذات إطار غير مرتفع ٥-٨ سم.

٢ - تزرع بذور النباتات فى المكعبات فى مكان دافئ رطب وتروي بالماء والمحلول المغذى

عند الحاجة لذلك.

٣ – بعد خروج جذور البادرات خارج مكعبات الإنبات تنقل إلى بلوكات الإنبات حتي تأخذ حجماً مناسباً وتصبح جاهزة للنقل إلى وسائد النمو (شكل ١٠ – ٢٧)، والذى يوضح تتابع مراحل إعداد البادرات حتي وضعها فى مكانها المستديم على وسائد النمو فى الصوبة.

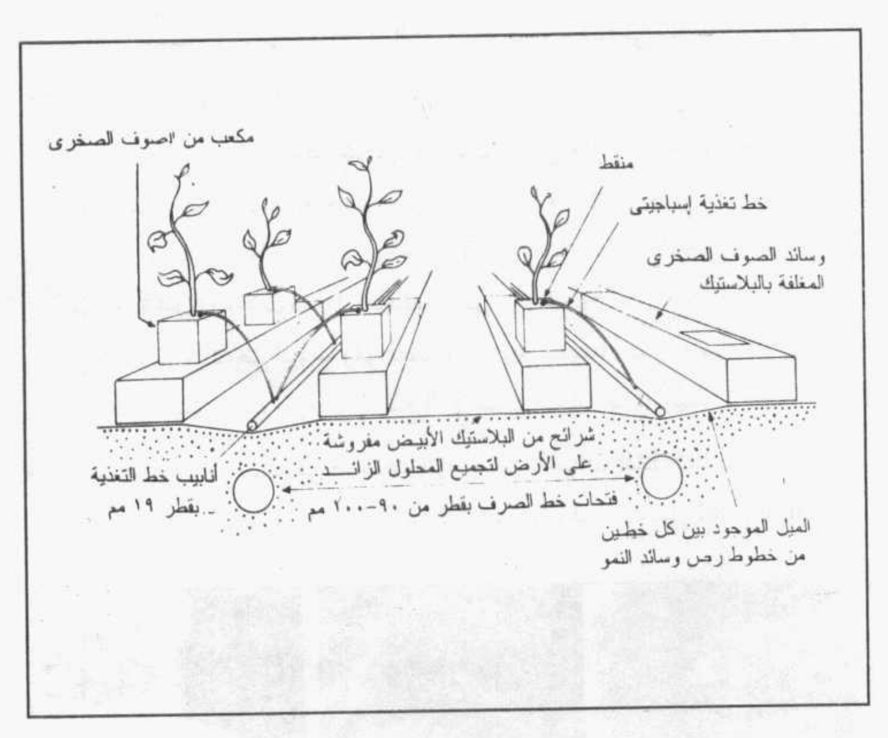
٤ – يتم تسوية أرض المزرعة فى شكل مصاطب بعرض ٧٠ سم تنحدر للخارج قليلاً، ثم ترتفع مكونة مصطبة أخري بعرض ٧٠ سم، وذلك فى حالة ما إذا كان عرض وسائد النمو ١٥ أو ٢٠ سم، ثم تغطى الأرض بالبلاستيك الأبيض صيفاً ليخفف من حدة الحرارة والأسود شتاء للتدفئة. وفى كل الأحوال فإن البلاستيك يمنع ظهور ونمو الحشائش بأرض المزرعة ونمو الفطريات ، ويمنع أيضاً وصول فاقد المحاليل المغذية إلى التربة ليتم تبخره من على أسطح البلاستيك ملطفاً للجو المحيط بالنبات .

٥ – يتم رص وسائد النمو فى صفوف طولية على الحواف المائلة للمصاطب بحيث يكون نهاية كل وسادة مع بداية الوسادة التالية لها وهو ما يسمى Tail to Tail، ثم



شكل (١٠-٢٧): يوضح تتابع خطوات إعداد البادرات في مكعبات الرنبات وكيفية نقلها إلي وسائد النمو.

توضع مواسير التغذية فى باطن المصاطب لتغذى زوج من وسائد النمو، وتكون الممرات على قمة المصاطب بين زوج من الوسائد أيضاً مما يسهل الحركة بعيداً عن رشح المحلول الزائد ومواسير الري والتغذية (شكل ١٠-٢٨) .



شكل (١٠-٢٨) : رسم تخطيطي للشكل العام الذي تكون عليه مزارع الأليـاف في الصوبة أو الحقل

فى حالة ما إذا كان النمو الخضرى للنباتات المراد تنميتها قصير مثل : الخس والفراولة، فيمكن تكثيف الزراعة بعمل مصاطب بعرض من ١٠٠ - ١١٠سم ورص الوسائد التي عرضها ١٥-٢٠ سم فى زوجين من الصفوف على الحواف المائلة للمصاطب (٤ صفوف على المصطبة) بنفس الطريقة السابقة، ويعمل خط الري والتغذية على ري وتغذية أربعة صفوف من وسائد النمو (٢ وسادة من كل جانب) .

٦ - يتم عمل فتحات بأبعاد مكعبات الإنبات أو البادرات في البلاستيك المغلف لوسائد النمو على أن تكون المسافة بين كل فتحة وأخري هى نفس المسافة المطلوبة بين كل

نبات وآخر.

٧ – يتم توصيل منقطات **Dripers** خط الري والتغذية إلى الفتحات الموجودة فى وسائد النمو وتشبيعها بالمحلول المغذى قبل نقل البادرات بـ ٢٤ – ٤٨ ساعة مع ضرورة عدم عمل فتحات للصرف خلال هذه الفترة، حيث يرفع الصوف الصخري رقم الـ **pH** للمحلول بمقدار درجة واحدة عند استخدامه لأول مرة فقط.

٨ – بعد ٢٤ – ٤٨ ساعة من تشبيع وسائد النمو يتم عمل فتحات الصرف فى أسفل الجانب المواجه لمواسير الرى، ليتم التخلص من المحلول الذى ارتفع رقم حموضته، ثم تنقل مكعبات الانبات أو البادرات وتثبت في المكان المجهز لها من قبل على وسائد النمو ويثبت بها المنقطات.

٩ – يتم التغذية من ٤–٦ مرات يومياً فى فصل الشتاء ومن ٨–١٢ مرة فى فصل الصيف وذلك بمعدل ٢–٤ لتر/ساعة، وفى كل مرة ينتظر حتي يخرج المحلول من فتحة الصرف . وتستمر التغذية بهذا المعدل حتي نهاية المحصول.

ويجب ملاحظة أن حجم الهواء في وسائد النمو يزداد بارتفاع الوسادة، وغالباً ما تكون التهوية فى حدود ٢٥٪ من حجم الوسائد التي ارتفاعها ٧,٥ سم كافياً لمعظم أنواع النباتات، إلا أنه ربما تحتاج بعض المحاصيل إلى حجم تهوية أكبر قد يصل إلى ٥٠٪، وفى هذه الحالة تستخدم وسائد ذات ارتفاع أكبر.

ما يتم عمله أثناء النمو

١ – التأكد من ضبط المحلول المغذى يوميًا، وذلك بأخذ عينة من المحلول المغذى الموجود فى وسائد النمو وليس المضاف إليها. ويتم أخذ العينة بواسطة سرنجة تغمس حتى منتصف الوسادة فيما بين النباتات، ومكونات كل عينة يتم تجميعها من ١٥ – ٢٠ وسادة عشوائيًا. وعلى هذه العينة يتم القياسات التالية:

الاختبارات اليومية:

أ – قياس رقم الـ**pH** والتوصيل الكهربى **Electrical Conductivity (E. C)** فى عينات من المحلول المغذى الموجود فى وسائد النمو باستخدام أجهزة قياس الـ

(pH Meter) pH وأجهزة قياس درجة التوصيل الكهربى **EC Meter**.

ب – تقدير العناصر التالية: NH_4- N, NO_3- N, P, K, Ca, Mg and Fe وهذا ما يجب أن يتم، إلا أنه نظراً لارتفاع تكاليف هذه التقديرات، بالإضافة إلى أن التغيرات التى تحدث فى المحلول المغذى ووسط النمو لا تكون كبيرة خلال أسبوع، لذلك يتم أخذ العينة أسبوعيًا وعليها يتم إجراء الاختبارات والتقديرات السابقة مرة كل أسبوع.

الاختبارات الشهرية:

تقدير عناصر **Mn, Cu, Zn and B**

اختبارات كل شهرين:

تقدير عناصر **Na and Cl**

وتقدير تركيزات العناصر فى المحاليل المغذية يتم باستخدام أجهزة الـ **Flame Photometr and Spectrophotometer** المتوفرة فى معامل تحليلات الأراضى والمياه.

٢ – إذا حدث تأثير لترسيب الأملاح أثناء نمو المحصول نتيجة لاستخدام ماء به نسبة ما من كلوريد الصوديوم مثلاً فإنه يتم الرى بماء فقط لمدة ٢ – ٣ أيام، ثم يعاد استخدام المحلول المغذى، وفى حالة إعادة استعمال وسائد النمو لسنة تالية يتم الرى فى الأسبوع الأخير من عمر النباتات أيضًا بماء فقط للتخلص من الأملاح المترسبة بها.

٣ – تثبيت النباتات ذات المجموع الخضرى الكبير مثل: الطماطم والخيار على الأسلاك أو الدعامات الخاصة بها.

٤ – مكافحة الآفات أو الحشرات إن وجدت.

ونظراً لاستخدام الصوف الصخرى فى الزراعة على مساحات كبيرة لمحاصيل عالية القيمة الاقتصادية، فإن الشركات المتخصصة فى تصنيع أنظمة الرى وفرت أجهزة ومعدات قياس فى غاية الدقة والنظام يتحكم فى عملها أجهزة الكمبيوتر المزودة ببرامج

تعمل على قياس درجة الـ pH، والـ E. C، وتركيز العناصر الغذائية، وتصحيح قيم كل منها أوتوماتيكيًا إلى القيم المثلى مما يوفر الوقت والعمالة ومثالية فى تركيزات المحلول المغذى، وهو ما يؤدى مع مثالية بيئة النمو إلى محصول جيد. وهذا هو سر الإنتاجية العالية فى مثل هذه الأنظمة.

وتعتبر محاصيل الخضر ونباتات الزينة من المحاصيل التى يتم زراعتها تجاريًا فى الصوف الصخرى وفى الصوف الزجاجى والفوم بنجاح كبير. ولنأخذ لذلك مثالاً من بعض المزارع التجارية بهولندا خلال عام ١٩٩٤ يوضح احتياجات ومتطلبات الزراعة لبعض المحاصيل فى الصوف الصخرى مقابل إنتاجيتها (جدول ١٠ – ٤).

ويلاحظ أن احتياجات محصول الطماطم Tomato تماثل نفس الاحتياجات لمحصول الفلفل Pepper، كما أن متطلبات محصول الخيار Cucumber تماثل ما تتطلبه محاصيل كل من القاوون Melon، والباذنجان Egg Plant (Aubergine)، والكوسة Squash، فى حين أن ما تحتاجه محاصيل القرنفل Carnation، والجربيرا Gerbera والأقحوان Chrysanthemum تقل قليلاً عن احتياجات شجيرات الورد Roses.

ثانيًا : النظام المغلق أو الدائرى Closed System

ويتبع فيه الخطوات التالية :

١ – يتم استخدام الخطوات من ١ – ٣ من الطريقة السابقة.

٢ – يتم وضع وسائد النمو فى طاولات من البلاستيك Trays (طولها بطول ٢ – ٣ وسادة، وعرضها عرض وسادة أو وسادتين)، ثم توضع طاولات البلاستيك على أرض الصوبة أو خارجها بميل ١ : ٢٠٠، وفى نهاية الطاولة البلاستيك توجد فتحة بقطر ١,٢٥ – ٣,٧٥ سم يثبت عليها ماسورة بلاستيك بنفس قطر الفتحة، وتتصل بماسورة تحمل المحلول الزائد إلى تنك التغذية.

٣ – يتم عمل فتحات بأبعاد مكعبات الإنبات أو البادرات فى البلاستيك المغلف لوسائد النمو على أن تكون المسافة بين كل فتحة وأخرى هى نفس المسافة المطلوبة بين كل نبات وآخر.

جدول (١٠ – ٤) : يوضح احتياجات بعض المحاصيل عند زراعتها في الصوف الصخري والإنتاج المتحصل منها

المحصول احتياجات المحصول	الطماطم Tomato	الخيار Cucumber	الورد Rose
المساحة بالمتر المربع	١٠٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠
كثافة النباتات فى المتر المربع	٢٫٥	١٫٥	١٠
عدد النباتات = عدد مكعبات الإنبات والنمو = عدد المنقطات	٢٨٠٠ – ٣٠٠٠	١٦٠٠ – ١٩٠٠	٩٠٠٠ – ١١٠٠٠
عدد وسائد النمو بطول ٧٥ سم	٩٠٠	٨٥٠ – ٩٠٠	١٠٠٠ – ١٤٠٠
كمية الأسمدة بالكيلو جرام	١٠٠	١٠٠	١٠٠
استهلاك المياه بالمتر المكعب	١٥٠٠	١٨٠٠	٢٠٠٠
عمر النبات حتى المحصول بالشهر	١٠ – ١١	١٠	١٢
المحصول بالكيلو جرام للمتر المربع	٦٥	٢٨	٢٠٠ زهرة
العمالة اللازمة لكل ٤٠٠ متر مربع	١	١	١

٤ – يتم توصيل منقطات خط الرى والتغذية إلى الفتحات الموجودة فى وسائد النمو وتشبيعها بالمحلول المغذى قبل نقل البادرات بـ ٢٤ – ٤٨ ساعة مع ضرورة عدم عمل فتحات للصرف خلال هذه الفترة (كما سبق بيانه فى الطريقة السابقة) .

٥ – بعد ٢٤ – ٤٨ ساعة من تشييع وسائد النمو يتم عمل فتحات الصرف فى أسفل الجانب المواجه لمواسير الرى، فيتم التخلص من المحلول الزائد، ثم تنقل مكعبات الإنبات أو البادرات وتثبت فى المكان المجهز لها من قبل على وسائد النمو ويثبت معها المنقطات .

٦ – يتم التغذية باستخدام المنقطات ويعاد استخدام المحلول الزائد مرة أخرى كما هو متبع فى الأنظمة المغلقة، وتستمر التغذية بهذا النظام حتى نهاية المحصول.

ثالثًا: الرى تحت السطحى لبيئات الألياف Sub - irrigation System

١ – فى هذا النظام يتم وضع وسائد الصوف الصخرى أو غيرها من وسائد بيئات الألياف الأخرى فى طاولات من البلاستيك كل منها يتسع لوسادتين أو ثلاثة على أن تزود هذه الوسائد بفتحات فى سطحها السفلى.

٢ – يتم ضخ المحلول المغذى إلى الطاولات البلاستيك الحاوية لوسائد الصوف الصخرى حتى أقصى ارتفاع يجب أن يكون عليه المحلول فى الطاولة والوسادة والذى يوجد عنده فتحة جانبية لإعادة الزيادة إلى تنك التغذية.

٣ – يتم ضخ المحلول مرة واحدة يوميًا فى المراحل الأولى للنمو ولمدة من ٥ – ١٠ دقائق، تزاد بعد ذلك إلى ٣ – ٥ مرات شتاء و٧ – ١٠ مرات صيفًا فى المراحل المتقدمة للنمو وحتى المحصول.

وتتميز هذه الطريقة بالاستخدام القليل للطاقة اللازمة لضخ المحلول بالإضافة إلى تلافى مشاكل انسداد المنقطات.

إعادة استخدام وسائد النمو فى زراعة محاصيل أخرى

يمكن استخدام وسائد النمو لأكثر من عام. ولإعادة الاستخدام بشكل جيد يجب التخلص من الأملاح المترسبة بها من المحصول السابق أولاً، ثم القضاء على الفطريات ثانيًا.

ويتم التخلص من الأملاح المترسبة كما سبق الإشارة إليه من قبل. أما القضاء على الفطريات فيتم كما يلى:

١ – يزال غطاء البلاستيك من على وسائد النمو، وترص فوق بعضها فى شكل بالات، ثم تغطى بإحكام بغطاء سميك من البلاستيك.

٢ – يمرر عليها بخار الماء لمدة ٣٠ دقيقة، وبعد أن تبرد يتم تغليفها بأغلفة البلاستيك وتكون بهذا جاهزة للاستخدام فى العام التالى.

فى بعض المناطق من العالم يستخدم بروميد الميثيل بدلا من بخار الماء، وبنفس الخطوات السابقة وإن كان يفضل استخدام المصدر الطبيعى عن المركب الكيماوى.

ملاحق

جدول (١) : بعض النباتات والمحاصيل الاقتصادية وأسماؤها العلمية

الاسم العلمى	الاسم الإنجليزى	الاسم العربى	الاسم العلمى	الاسم الإنجليزى	الاسم العربى
المحاصيل السكرية			**Cereal Crops محاصيل الحبوب**		
Saccharm officinarum L .	Sugar Cane	قصب السكر	Hordeum vulgare L .	Barley	الشعير
Beta vulgaris L.	Sugar Beet	بنجر السكر	Triticum aestivum L .	Wheat	القمح
نباتات الخضر			Oriza sativa L.	Rice	الأرز
Spinacia oleracea L.	Spinach	السبانخ	Zea mays L.	Maize	الذرة
Beta vulgaris L.	Beet	البنجر	Sorghum bicolor (L.) Moench	Sorghum	ذرة رفيعة
Malva parvifloa L.	Egyptian Mallow	الخبيزة	Secale cereale L.	Rye	الشيلم
Hibiscus esculentus L.	Okra	البامية	Avena sativa L.	Oats	الشوفان
Cucumis sativus L.	Cucumber	الخيار	**البذور البقولية**		
Cucurbita pepo L.	Field Pumpkin	القرع	Vicia faba L	Faba bean	الفول
Raphanus sativus L.	Radish	الفجل	Pisum sativum L.	Pea	البسلة
Eruca sativa Mill.	Roquette	جرجير	Lens culinaris L.	Lentil	العدس
Brassica oleracea Var. Capitata L.	Cabbage	كرنب	Vigna sinensis Savi	Cow Pea	اللوبيا

تابع جدول (١) : بعض النباتات والمحاصيل الاقتصادية وأسماؤها العلمية

الاسم العربى	الاسم الإنجليزى	الاسم العلمى	الاسم العربى	الاسم الإنجليزى	الاسم العلمى
فاصوليا	Bean	Phaseolus vulgaris L.	كرنب بروكسل	Brussele Sprouts	Brassica oleracea var gemmifera L.
الحمص	Chick Pea	Cicer arietinum L.	القنبيط	Cauliflower	Brassica oleracea var. botrytis L.
فول سوداني	Peanut	Arachis hypogaea L.	اللفت	Turmip	Brassica rapa L.
فول الصويا	Soybean	Glycine max (L.) Merr	الجزر	Carrot	Daucus carota L.
			البقدونس	Parsley	Apium petroselinu m L.
محاصيل ألياف أو زيتية			الكرفس	Celery	Apium graveolens var. dulce Pers
القطن	Cotton	Gassypium hirsutum	بطاطس	Potato	Solanum tuberosum L.
السمسم	Sesame	sesamum indicum L.	باذنجان	Egg - Plant	Solanum melongena L.
الكتان	Flax	Linum usitatissimu m L.	الطماطم	Tomato	Lycopersic um esculentum Mill
عباد الشمس	Sunflower	Helianthus annus L.	الفلفل	Pepper	Capsicum frutescens L.
الشلجم	Rape	Brassica napus var. oil	البطاطا	Sweet Potato	Ipomoea batatas Lam

تابع جدول (١) : بعض النباتات والمحاصيل الاقتصادية وأسماؤها العلمية

الاسم العربى	الاسم الإنجليزى	الاسم العلمى	الاسم العربى	الاسم الإنجليزى	الاسم العلمى
الزيوت	Olive	Olea europaea L.	الخس	Lettuce	Lactuca sativa L.
نخيل الزيت	Oil Palm	Elaeis guineensis Jacg	خرشوف	Artichoke	Cynara scolymus L.
جوز الهند	Coconut	Cocos nucifera L.	البصل	Onion	Allium cepa L.
نباتات العلف			الثوم	Garlic	Allium sativum L.
البرسيم المصرى	Egyptian Clover	Trifolium alexandrinum L.	الكرات	Leek	Allum porrum L.
البرسيم الحجازى	Alfalafa	Mesicago sativa L.	الهليون	Asparagus	Asparagus officinalis L.
برسيم حلو	Yellow Sweet Clover	Melilotus officinalis lam	القلقاس	Taro	Colocasia antiquorum Schott
نباتات الفاكهة					
الجوز	Wallberry	Juglans regia L.	البرتقال	Sweet orange	Citrus sinensis osbech.
التوت	Mullberry	Morus spp. Pyrus malus L.	اليوسفى	Mandarine	Citrus nobilis var. delicious Swingle
التفاح	Apple	Pyrus communis L.	الليمون المالح	Lime	Citrus aurantifolia Swingle
الكمثرى	Pear		الليمون الأضاليا	Lemon	Citrus iimonum Risso.

تابع جدول (١) : بعض النباتات والمحاصيل الاقتصادية وأسماؤها العلمية

الاسم العربى	الاسم الإنجليزى	الاسم العلمى	الاسم العربى	الاسم الإنجليزى	الاسم العلمى
الخوخ	Peach	Prunus persica	المانجو	Mango	Mangifera indica L.
المشمش	Apricot	Prunus armeniaca L.	العنب	Grape	Vinifera L.
البرقوق	European Plum	Prunus domestica L.	الجوافة	Guava	Psidum guajava L.
الكريز	Cherry Plum	Prunus cerasifera	نخيل البلح	Data Palm	Phoenix dactylefera L.
الأناناس	Pine Apple	Ananas comosus Merr	الموز	Musa spp.	Musa spp.

جدول (٢) : وحدات التعامل في بعض أصناف المحاصيل الزراعية

الصنف	وحدات التعامل (كيلو جرام)	الصنف	وحدات التعامل (كيلو جرام)
القطن الزهر (قنطار مترى)	١٥٧,٥	الحلبة (بالأردب)	١٥٥
القطن الشعر (قنطار مترى)	٥٠	الترمس (بالأردب)	١٥٠
بذرة القطن (أردب المترى)	١٢٠	الحمص (بالأردب)	١٥٠
القمح (بالأردب)	١٥٠	فول سودانى (أردب)	٧٥
الشعير (بالأردب)	١٢٠	البسلة الناشفة (أردب)	١٦٠
الذرة الشامية (بالأردب)	١٤٠	اللوبيا (بالأردب)	١٢٠
الذرة الرفيعة (بالأردب)	١٤٠	السمسم (بالأردب)	١٢٠
الأرز المبيض (بالأردب)	٢٠٠	بذرة الكتان (أردب)	١٢٢
الأرز الشعير (بالأردب)	٣٠٠	القرطم (أردب)	١١٣
الأرز الشعير (بالضريبة)	٩٤٥	البرسيم (بالأردب)	١٥٧
الفول (بالأردب)	١٥٥	التبن (بالحمل)	٢٥٠
الفول المجروش (أردب)	١٤٤	النخالة (بالأردب)	٦٧,٥
العدس الصحيح (أردب)	١٦٠	الفريك (بالأردب)	١٤٠
العدس المجروش (بالأردب)	١٤٨	البصل (بالقنطار)	٤٥

المصدر: جدول رقم ٥ بالقانون رقم ٢٢٩ لسنة ١٩٥١ القرارين الوزاريين رقم ٤٠٧، ٧١٢ لسنة ١٩٦١ من وزارة الاقتصاد بشأن استخدام الأوزان المترية في معاملات القطن.

جدول (٣) : بعض التحويلات الهامة في الأطوال والمساحة والكتلة والتركيزات وغيرها

العمود الأول	العمود الثاني	للتحويل من الأول للثاني يتم الضرب في	للتحويل من الثاني للأول يتم الضرب في
	الطـــــول		
الكيلو متر (كم = ١٠^{٣}م)	الميل	٠,٦٢١	١,٦٠٩
المتر (م)	الياردة	١,٠٩٤	٠,٩١٤
المتر (م)	القدم	٣,٢٨	٠,٣٠٤
الميكروميتر (١٠$^{-٦}$ م)	الميكرو	١,٠	١,٠
الملليمتر (١٠$^{-٣}$ م)	البوصة	٣,٩٤ X ١٠$^{-٢}$	٢٥,٤
النانوميتر (١٠$^{-٩}$ م)	أنجستروم	١٠	٠,١
	المســـاحــة		
الهكتار	الفدان	٢,٣٨	٠,٤٢
الفدان	أيكر	١,٠٤	٠,٩٦
الهكتار	أيكر	٢,٤٧	٠,٤٠٥
كيلو متر مربع (كم^{٢} = ١٠^{٣} م^{٢})	أيكر	٢٤٧	٤,٠٥ X ١٠$^{-٣}$
متر مربع (م٢)	أيكر	٢,٤٧ X ١٠$^{-٤}$	٤,٠٥ X ١٠^{٣}
متر مربع (م٢)	قدم مربع	١٠,٦٧	٩,٩٢ X ١٠$^{-٢}$

تابع جدول (٣): بعض التحويلات الهامة في الأطوال والمساحة، والكتلة والتركيزات

العمود الأول	العمود الثانى	للتحويل من الأول للثانى يتم الضرب فى	للتحويل من الثانى للأول يتم الضرب فى
	الكتلة		
الجرام، جم ($١٠^{-٣}$ كجم)	الرطل	$٢,٢٠ \times ١٠^{-٣}$	٤٥٤
الجرام	أوقية	$٣,٥٢ \times ١٠^{-٢}$	٢٨,٤
كيلو جرام، كجم	الرطل	٢,٢٠٥	٠,٤٥٤
كيلو جرام	الطن (٢٠٠٠ رطل)	$١,١ \times ١٠^{-٣}$	٩٠٧
ميجاجرام	طن أمريكى	١,١٠٢	٠,٩٠٧
	التركيز		
السنتيمول / كجم (Kg^{-1} Cmol)	ملليمكافىء / ١٠٠ جم	١	١
جم / كجم	نسبة مئوية ٪	٠,١	١٠
مجم / كجم	نسبة مئوية ٪	$١٠^{-٤}$	$١٠^{٤}$
ميجاجرام / م ٣	جرام / سم ٣	١	١
ملليجرام / كجم	جزء فى المليون	١	١

جدول (٤): تحويلات بعض العناصر من صورة إلي صورة أخري

العمود الأول	العمود الثانى	للتحويل من الأول للثانى يتم الضرب فى	للتحويل من الثانى للأول يتم الضرب فى
تحويلات بعض العناصر من صورة إلى صورة أخرى			
النيتروجين N	النترات NO3	٤,٤٢٧	٠,٢٢٦
النيتروجين N	نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$	٥,٨٥٧	٠,١٧١
النيتروجين N	نترات البوتاسيوم KNO_3	٧,٢١٨	٠,١٣٩
النيتروجين N	اليوريا $[(NH_2)_2CO]$	٢,١٤٤	٠,٤٦٧
الفوسفور P	فوسفات الأمونيوم $NH_4H_2PO_4$	١,٦٢١	٠,٦١٧
الفوسفور P	خامس أكسيد الفوسفور P_2O_5	٢,٢٩	٠,٤٣٧
البوتاسيوم K	أكسيد بوتاسيوم K_2O	١,٢٠	٠,٨٣٠
الكالسيوم Ca	أكسيد كالسيوم CaO	١,٣٩	٠,٧١٥
الماغنسيوم Mg	أكسيد ماغنسيوم MgO	١,٦٦	٠,٦٠٢
أكسيد بوتاسيوم K_2O	كبريتات بوتاسيوم K_2SO_4	١,٨٥٠	٠,٥٤١
الحديد Fe	كبريتات الحديدوز $FeSO_4$	٢,٧٢٠	٠,٣٦٨
الزنك Zn	كبريتات الزنك $ZnSO_4$	٢,٤٦٩	٠,٠٥٠
المنجنيز Mn	كبريتات المنجنيز $MnSO_4$	٢,٧٤٩	٠,٣٦٤
النحاس Cu	كبريتات النحاس $CuSO_4$	٣,٩٢٩	٠,٢٥٥
الموليبدنم Mo	موليبيدات الصوديوم $Na_2Mo_4 . 2H_2O$	٢,٥٢٢	٠,٣٩٧
البورون B	البوراكس $Na_2BO_7 .10H_2O$	٨,٨١٣	٠,١١٣

جدول (٥) : أسمدة العناصر الكبري وأوزانها الجزيئية في حالتها النقية والتجارية

اسم السماد أو المركب	الوزن الجزيئى فى الحالة النقية	الوزن الجزيئى فى الحالة التجارية	العناصر الأساسية بها
نترات البوتاسيوم	١٠١	١١٠	N,K
نترات الكالسيوم (ماءئية)	١٨٢	١٩٠	N,Ca
نترات الكالسيوم (لا مائية)	١٦٤	١٨٠	N, Ca
نترات الأمونيوم	٨٠	٨٠	N
كبريتات الأمونيوم	١٣٢	١٤٠	N,S
فوسفات الأمونيوم	١١٥	١٢٠–١٤٠	N,P
كلوريد البوتاسيوم	٧٥,٥	٨٠	K
كبريتات البوتاسيوم	١٧٤	٢٠٠	K,S
فوسفات أحادى البوتاسيوم	١٣٦	١٤٠	K,P
فوسفات ثنائى البوتاسيوم	١٧٤	١٨٠	K,P
فوسفات أحادى الكالسيوم	٢٥٢	٢٧٠–٧٥٠	P, Ca
كبريتات الماغنسيوم	١٢٠	١٣٠	Mg, S
نترات الماغنسيوم	١٤٨	١٥٠	Mg, N
كبريتات الكالسيوم (مائية)	١٧٢	١٩٠	Ca, S
كلوريد الكالسيوم	١٤٧	١٥٠	Ca, Cl
اليوريا	٦٠	٦٠	N
حامض الكبريتك	٩٨	١٠٠	S
حامض النيتريك	٦٣	٦٥–٧٠	N
حامض الأيدروكلوريك	٣٦,٥	٤٠	H, Cl

جدول (٦): كمية أسمدة العناصر الكبري بالجرام في ١٠٠٠ لتر ماء والتي تعطي تركيز ١ جزء في المليون من العنصر الموجود به، وما يكافؤها بالمليمكافئ/ لتر

اسم السماد أو المركب	الكمية بالجرام لكل ١٠٠٠ لتر ماء لتعطى تركيز ١ جزء فى المليون	مكافئ ١ جزء فى المليون بالمليمكافئ فى اللتر	عناصر ثانوية تضاف بالجزء فى المليون
نترات البوتاسيوم	N ٧,٨٠	٠,٠٧١٤	K ٢,٨٠
نترات البوتاسيوم	K ٢,٨	٠,٠٢٥٦	N ٠,٣٦
نترات الكالسيوم (ماءئية)	N ٩,٠	٠,٠٧١٤	Ca ١,٤٣
نترات الكالسيوم (ماءئية)	Ca ٦,٢٥	٠,٠٢٥	N ٠,٧٠
نترات الكالسيوم (لا مائية)	N ٦,٤٤	٠,٠٧١٤	Ca ١,٤٣
نترات الكالسيوم (لا مائية)	Ca ٤,٥٠	٠,٠٢٥	N ٠,٧٠
نترات الأمونيوم	N ٣,٠	٠,٠٣٧٥	–
كبريتات الأمونيوم	N ٤,٨٦	٠,٠٧١٤	–
فوسفات الأمونيوم	P ٣,٨٧	٠,٠٣٢٢	N ٠,٤٥
كلوريد البوتاسيوم	K ٢,٠٥	٠,٠٢٥٦	–
كبريتات البوتاسيوم	K ٢,٥	٠,٠٢٥٦	–
اليوريا	N ٢,٢٠	٠,٠٢٨٢	–
كبريتات الماغنسيوم	Mg ١٠,٧٥	٠,٠٤١٧	–
فوسفات أحادى الكالسيوم	P ١٤,٣٠	٠,٠٣٢٢	Ca ٣,٨٠

جدول (٧) : كمية أسمدة العناصر الصغري بالجرام في ١٠٠٠ لتر ماء والتي تعطي تركيز ١ جزء في المليون من العنصر الموجود بها وما يكافؤها بالملليمكافئ/ لتر

اسم السماد أو المركب	الكمية بالجرام لكل ١٠٠٠ لتر ماء لتعطى تركيز ١ جزء فى المليون	مكافئ ١ جزء فى المليون بالمليمكافئ فى اللتر	عناصر ثانوية تضاف بالجزء فى المليون
كبريتات الحديدور	Fe ٥,٥٤	٠,٠١٨٥	–
سترات الأمونيوم والحديديك	Fe ٨,٧٥	٠,٠١٨٥	–
كبريتات المنجنيز	Mn ٤,٠٥	٠,٠١٨٢	–
حامض البوريك	B ٥,٦٤	٠,٠٩١٠	–
كبريتات النحاس	Cu ٣,٩١	٠,٠١٥٦	–
كبريتات الزنك	Zn ٤,٤٢	٠,٠١٥٤	–

جدول (٨) : الوزن الجزيئي لأملاح العناصر الصغري ونسبة العنصر بها

اسم السماد أو المركب	الوزن الجزيئى	الوزن الجزيئى
كبريتات الحديدوز	٢٧٨	Fe ٢٢,٢
كبريتات الحديدوز والأمونيوم	٣٩٢	Fe ١٤,٣
كلوريد الحديديك	٢٧٠,٥	Fe ٢٠,٧
طرطرات الحديد	٢٠٤	Fe ٢٧,٥
سترات الحديد	٢٩٩	Fe ١٨,٩
سترات الحديد والأمونيوم	٤٠٨	Fe ١٣,٧
كبريتات النحاس	٢٤٩,٦٨	Cu ٢٥,٥
كبريتات الزنك	٢٨٧,٥٤	Zn ٢٢,٩
كبريتات المنجنيز	١٦٩	Mn ٣٢,٥
كبريتات المنجنيز	٢٢٣	Mn ٢٤,٧
حامض البوريك	٦٢	B ١٨,١
البوراكس	٣٨٢	B ١١,٨
أيوديد البوتاسيوم	١٦٦	I ٧١,٠
سليكات البوتاسيوم	١٥٤	Si ١٨,٧
سليكات الصوديوم	١٢٢	Si ٢٣,٠
فلوريد الصوديوم	٤٢	F ٤٥,٠
كبريتات الألومنيوم	٣٨٢	Al ١٥,٨

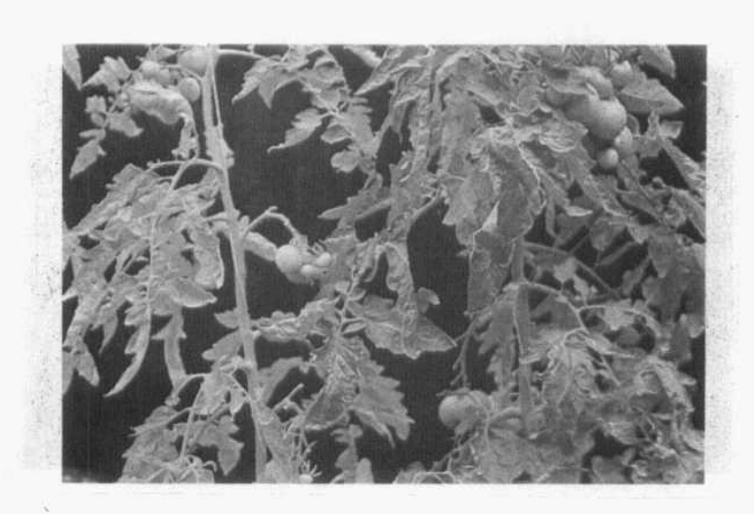


نماذج ملونة لأعراض نقص العناصر الغذائية
على بعض النباتات



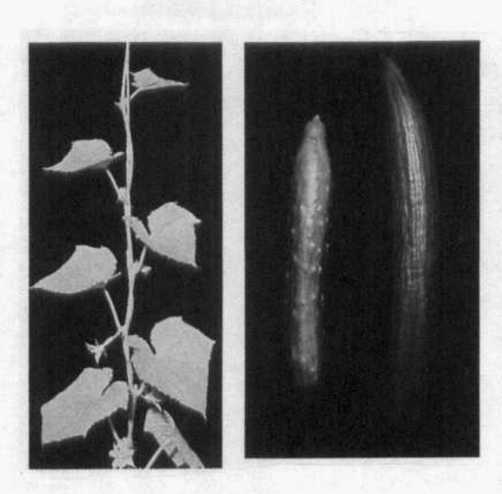


أعراض نقص النيتروجين على أوراق نباتات الذرة



أعراض نقص النيتروجين على نباتات الطماطم (إلى اليسار)

نماذج لأعراض نقص عنصر النيتروجين N علي بعض النباتات



أعراض نقص النيتروجين على الخيار (ثمار وأوراق)



أعراض نقص النيتروجين على نباتات الخس (إلى اليمين)

نماذج لأعراض نقص النيتروجين N على بعض النباتات

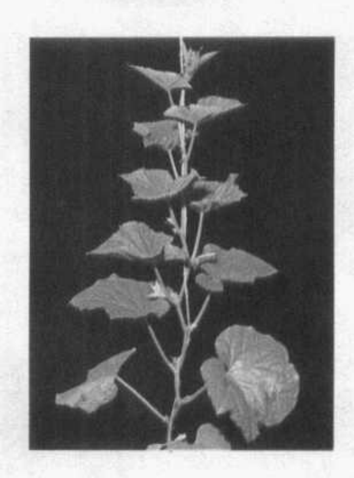


أعراض نقص الفوسفور على أوراق نباتات الذرة



أعراض نقص الفوسفور على نباتات الطماطم

نماذج لأعراض نقص الفوسفور P علي بعض النبات



أعراض نقص الفوسفور على نباتات الخيار



أعراض نقص الفوسفور على نباتات الخس

نماذج لأعراض نقص عنصر الفوسفور P علي بعض النباتات

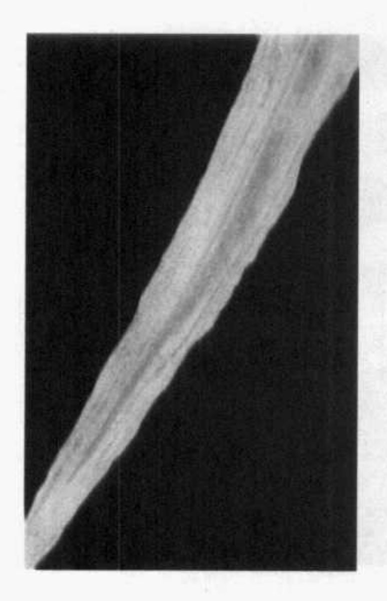


أعراض نقص البوتاسيوم على أوراق نباتات فول الصويا



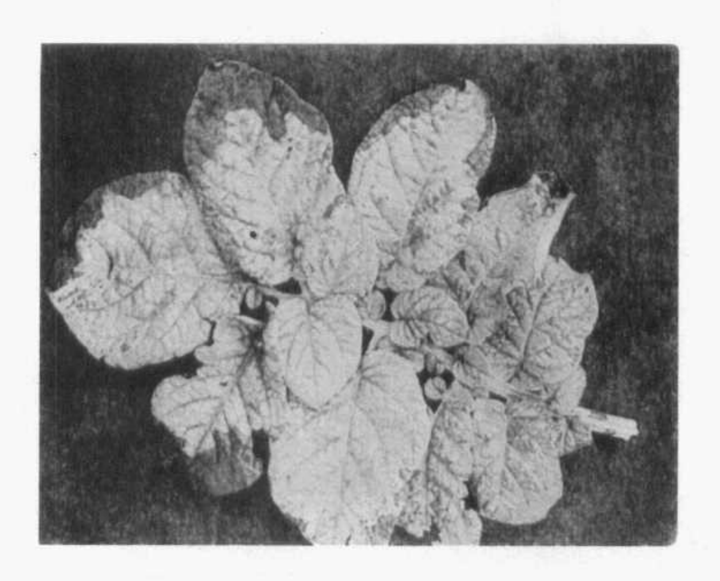
أعراض نقص البوتاسيوم على أوراق الخوخ

نماذج لأعراض نقص عنصر البوتاسيوم K علي بعض النباتات



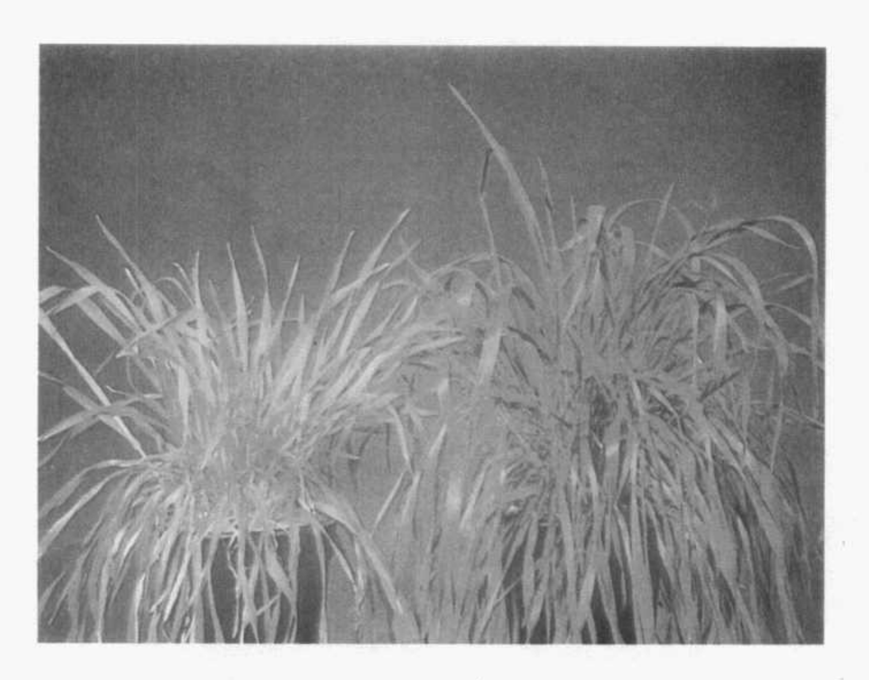


أعراض نقص البوتاسيوم على أوراق نباتات الذرة



أعراض نقص البوتاسيوم على أوراق نباتات البطاطس

نماذج لأعراض نقص عنصر البوتاسيوم K علي بعض النباتات

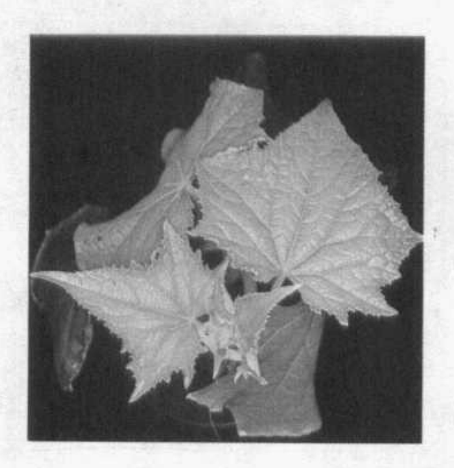


أعراض نقص الكبريت على نباتات الأرز

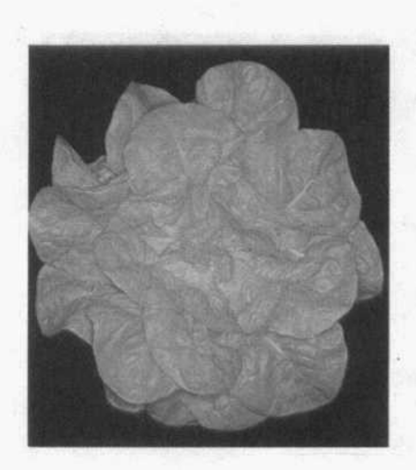


أعراض نقص الكبريت على نباتات الطماطم (إلى اليسار)

نماذج لأعراض نقص عنصر الكبريت S علي بعض النباتات



أعراض نقص الكبريت على نباتات الخيار



أعراض نقص الكبريت على نباتات الخس

نماذج لأعراض نقص عنصر الكبريت S علي بعض النباتات

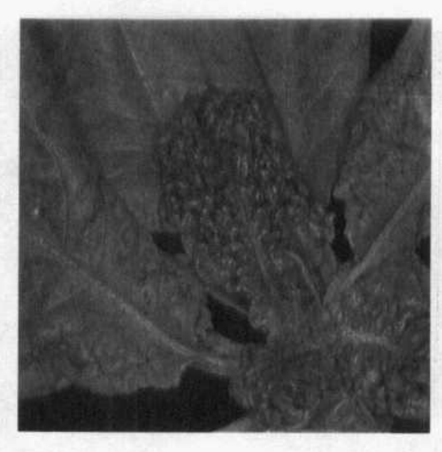


أعراض نقص الكالسيوم على ثمار الطماطم والبقع الجافة المسودة والغائرة



أعراض نقص الكالسيوم على ثمار البطيخ وحروق القمة الزهرية للثمار

نماذج لأعراض نقص عنصر الكالسيوم Ca علي بعض النباتات



أعراض نقص الكالسيوم على أوراق وثمار الخيار
والتفاف حواف الأوراق للداخل وضمور فى قمة الثمار



أعراض نقص الكالسيوم على نباتات الخس

نماذج لأعراض نقص عنصر الكالسيوم Ca علي بعض النباتات



أعراض نقص المغنسيوم على أوراق نباتات الذرة
ويظهر فيها اللون الأبيض المصفر بين العروق

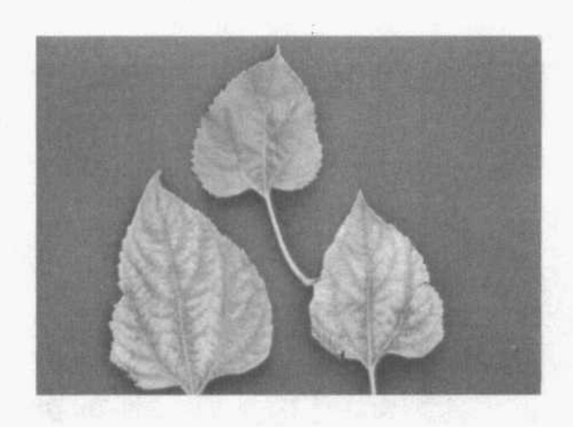


أعراض نقص المغنسيوم على نباتات بنجر السكر واصفرار حواف وقمم الأوراق

نماذج لأعراض نقص عنصر المغنسيوم Mg علي بعض النباتات



أعراض نقص المغنسيوم على أوراق نباتات الباذنجان



أعراض نقص المغنسيوم على أوراق نباتات عباد الشمس

نماذج لأعراض نقص عنصر المغنسيوم Mg علي بعض النباتات



أعراض نقص الزنك على أوراق أشجار الموالح

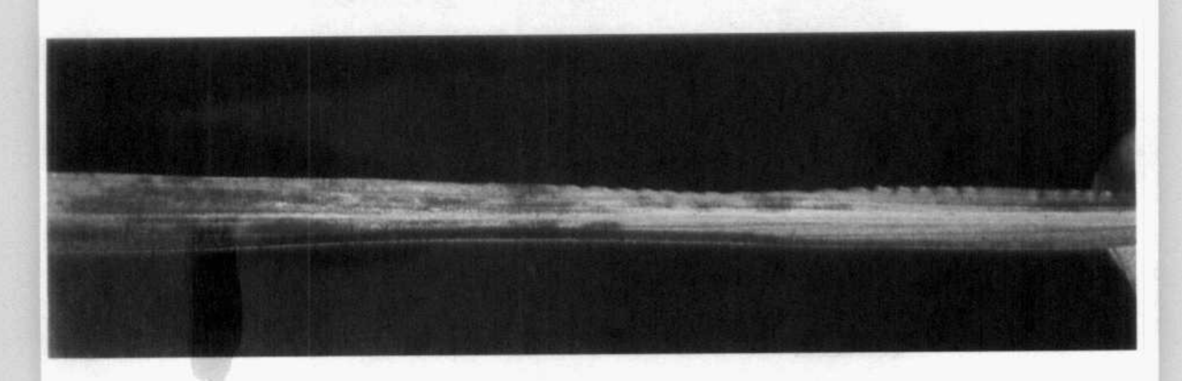


أعراض نقص الزنك على أوراق العنب

نماذج لأعراض نقص عنصر الزنك Zn علي بعض النباتات



أعراض نقص الزنك على نباتات الذرة



أعراض نقص الزنك على نباتات الأرز

نماذج لأعراض نقص عنصر الزنك Zn علي بعض النباتات

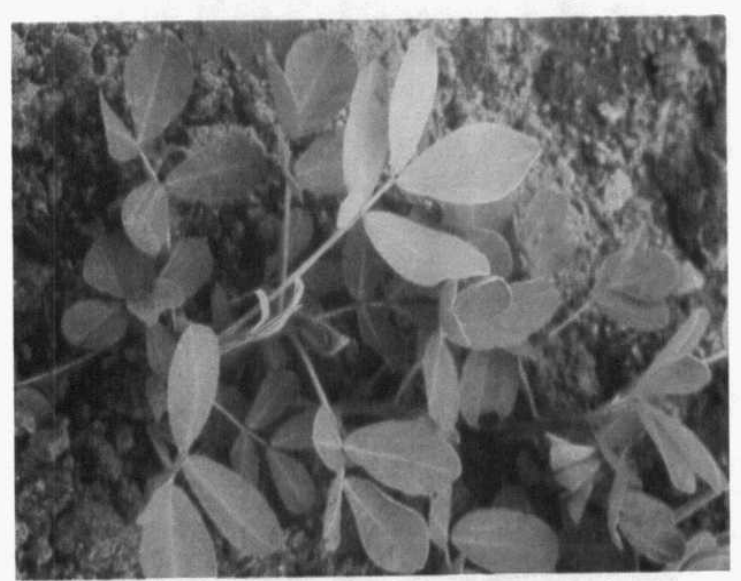


أعراض نقص الحديد على أوراق الموز ويظهر اللون الأصفر بين العروق

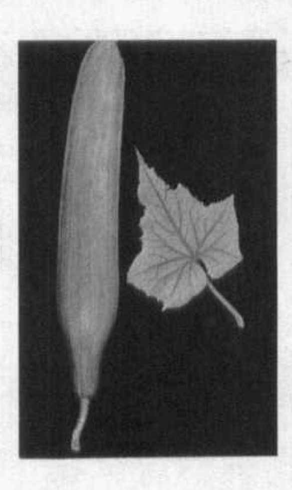


أعراض نقص الحديد على أوراق نباتات القطن الحديثة

نماذج لأعراض نقص عنصر الحديد Fe علي بعض النباتات

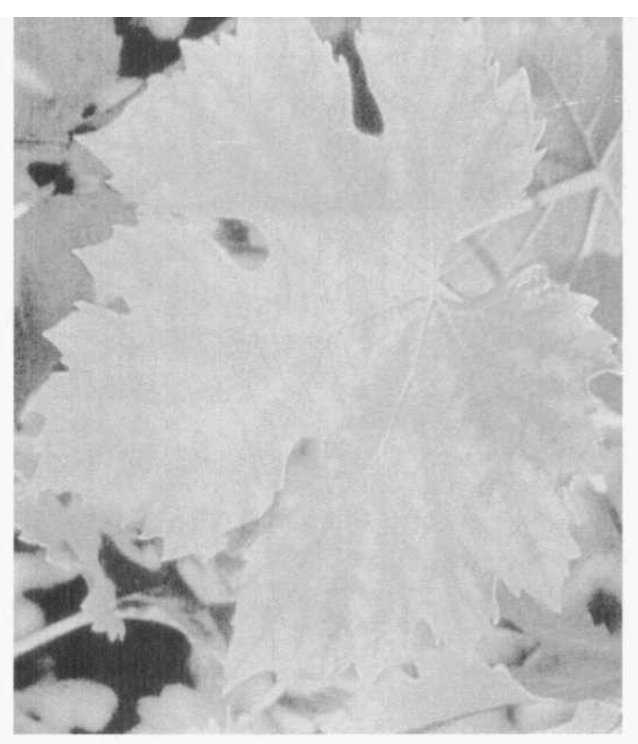


أعراض نقص الحديد على أوراق فول الصويا
ويظهر الاصفرار على الأوراق الحديثة والمتوسطة

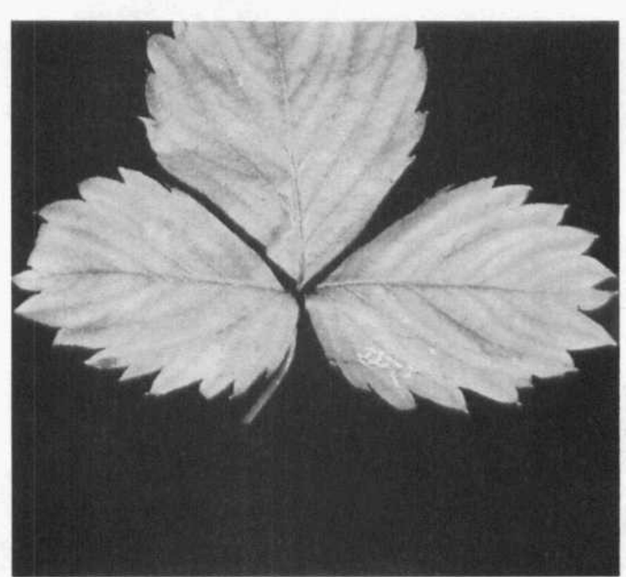


أعراض نقص الحديد على أوراق وثمار الخيار

نماذج لأعراض نقص عنصر الحديد Fe علي بعض النباتات

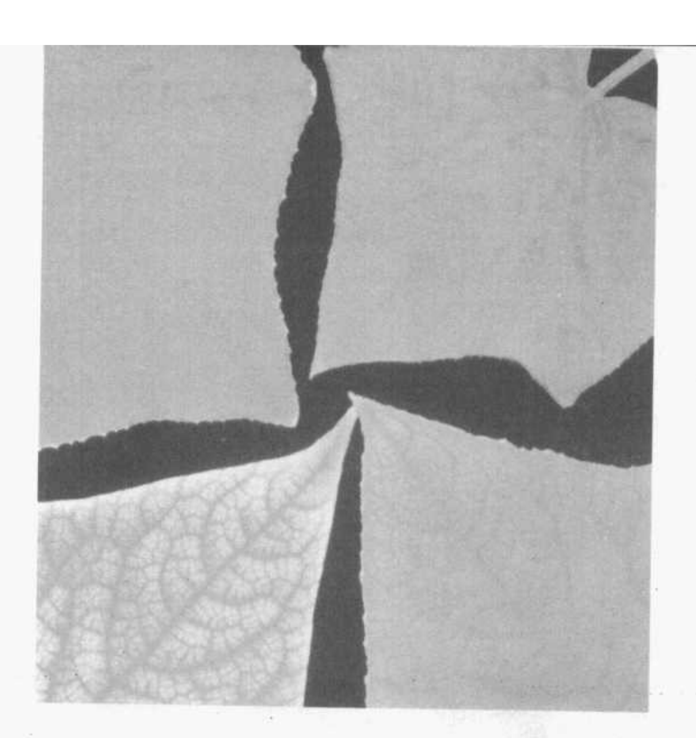


أعراض نقص المنجنيز على أوراق العنب القاعدية
ويظهر الاصفرار فيما بين العروق الخضراء

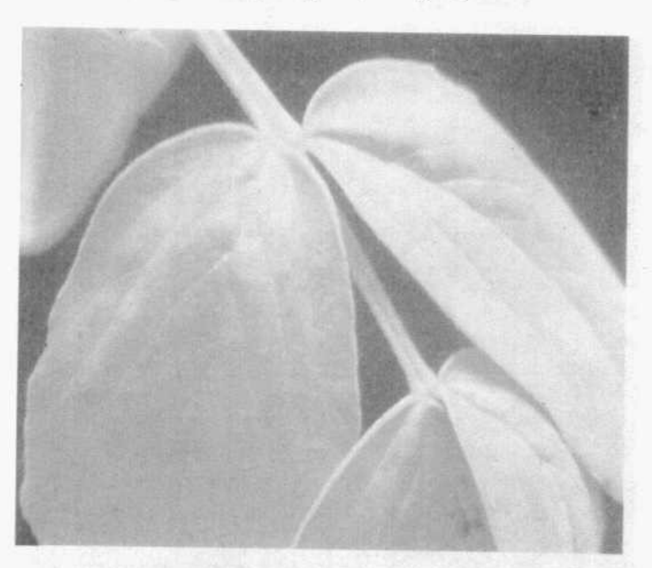


أعراض نقص المنجنيز على أوراق الفراولة واصفرار ما بين العروق

نماذج لأعراض نقص عنصر المنجنيز Mn على بعض النباتات

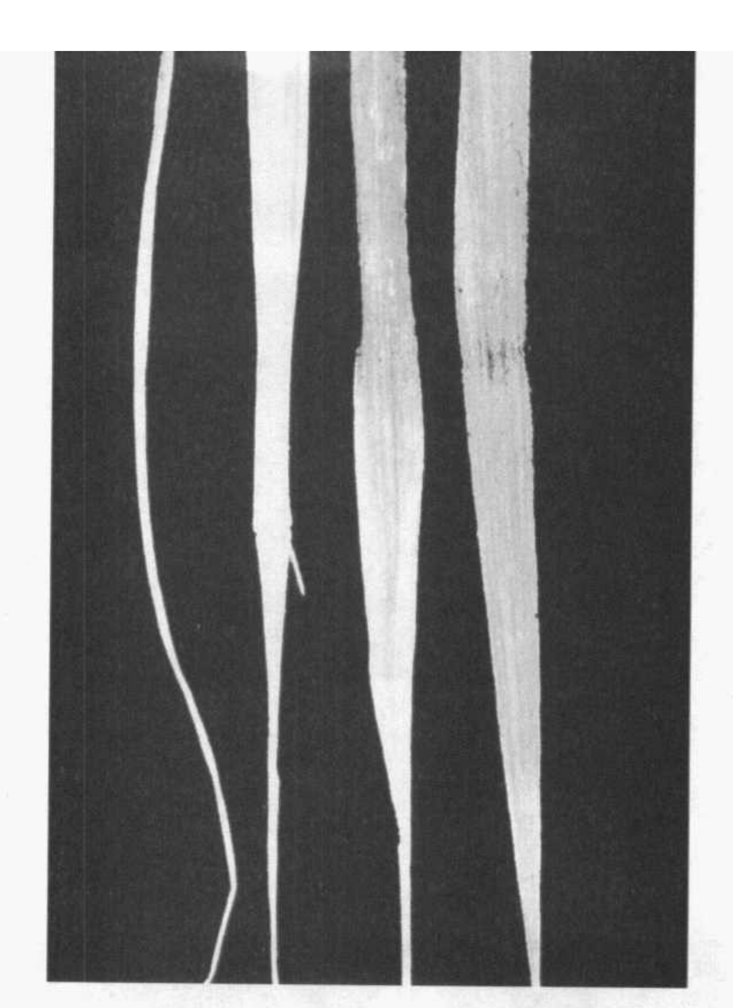


أعراض نقص المنجنيز على أوراق الخيار فى
مراحل مختلفة من نقص العنصر

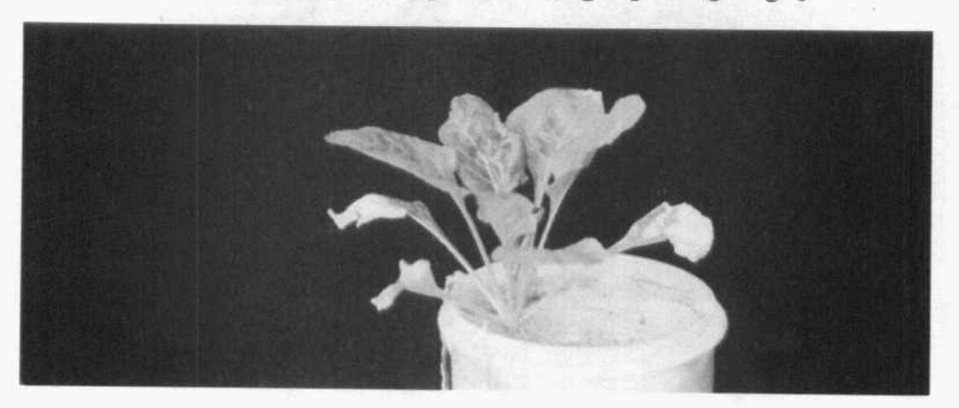


أعراض نقص المنجنيز على أوراق الفول البلدى
وبقع بنية مع اصفرار ما بين العروق

نماذج لأعراض نقص عنصر المنجنيز Mn علي بعض النباتات



أعراض نقص النحاس على أوراق محاصيل الحبوب وظهور القمة البيضاء

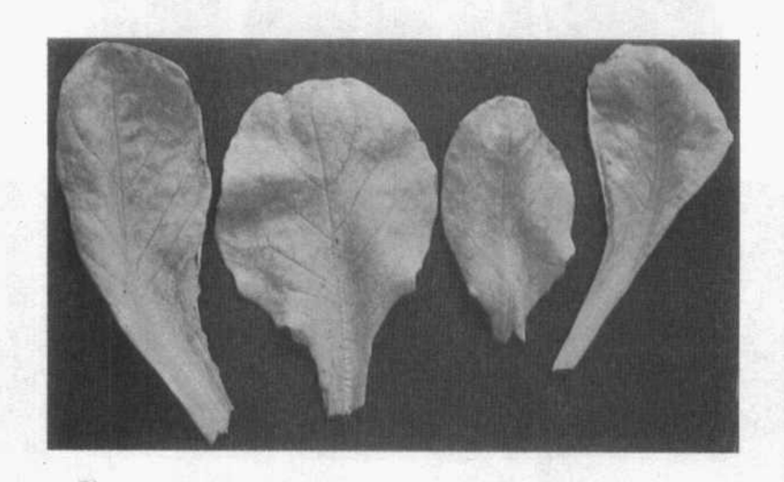


أعراض نقص النحاس على أوراق بنجر السكر

نماذج لأعراض نقص عنصر النحاس Cu علي بعض النباتات

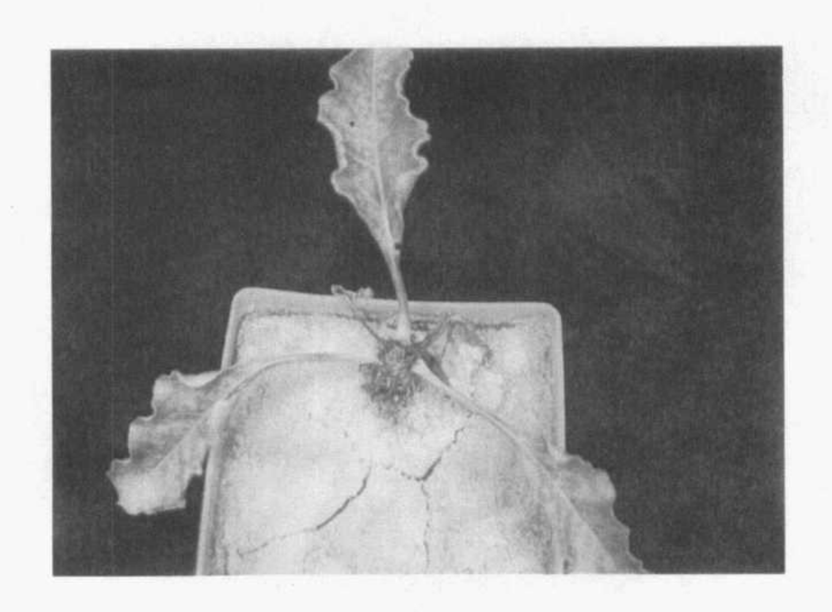


أعراض نقص النحاس على أوراق نباتات الخيار



أعراض نقص النحاس على أوراق نباتات الخس

نماذج لأعراض نقص عنصر النحاس Cu علي بعض النباتات

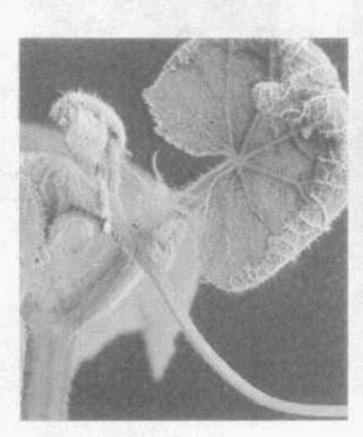


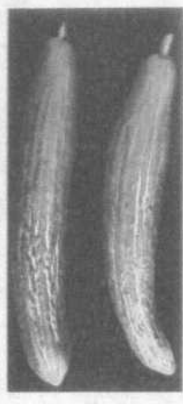
أعراض نقص البورون على نباتات بنجر السكر



أعراض نقص البورون على نباتات الطماطم

نماذج لأعراض نقص عنصر البورون B علي بعض النباتات



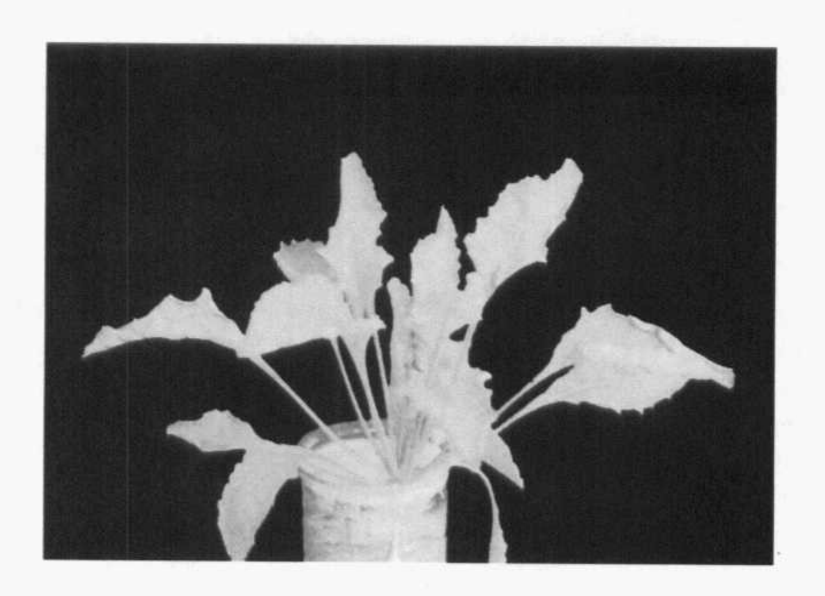


أعراض نقص البورون على نباتات وثمار الخيار



أعراض نقص البورون على نباتات الخس وتورد الرأس

نماذج لأعراض نقص عنصر البورون B علي بعض النباتات

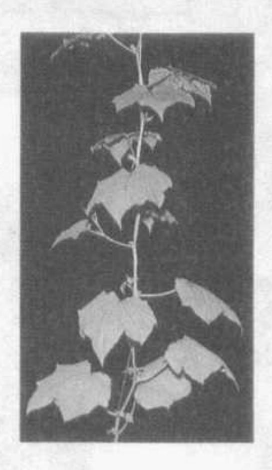


أعراض نقص عنصر المولیبدنم على نباتات بنجر السكر

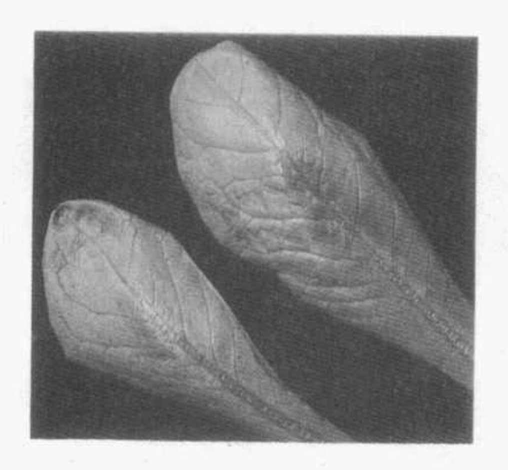


أعراض نقص المولیبدنم على نباتات الطماطم

نماذج لأعراض نقص عنصر الموليبدنم Mo علي بعض النباتات

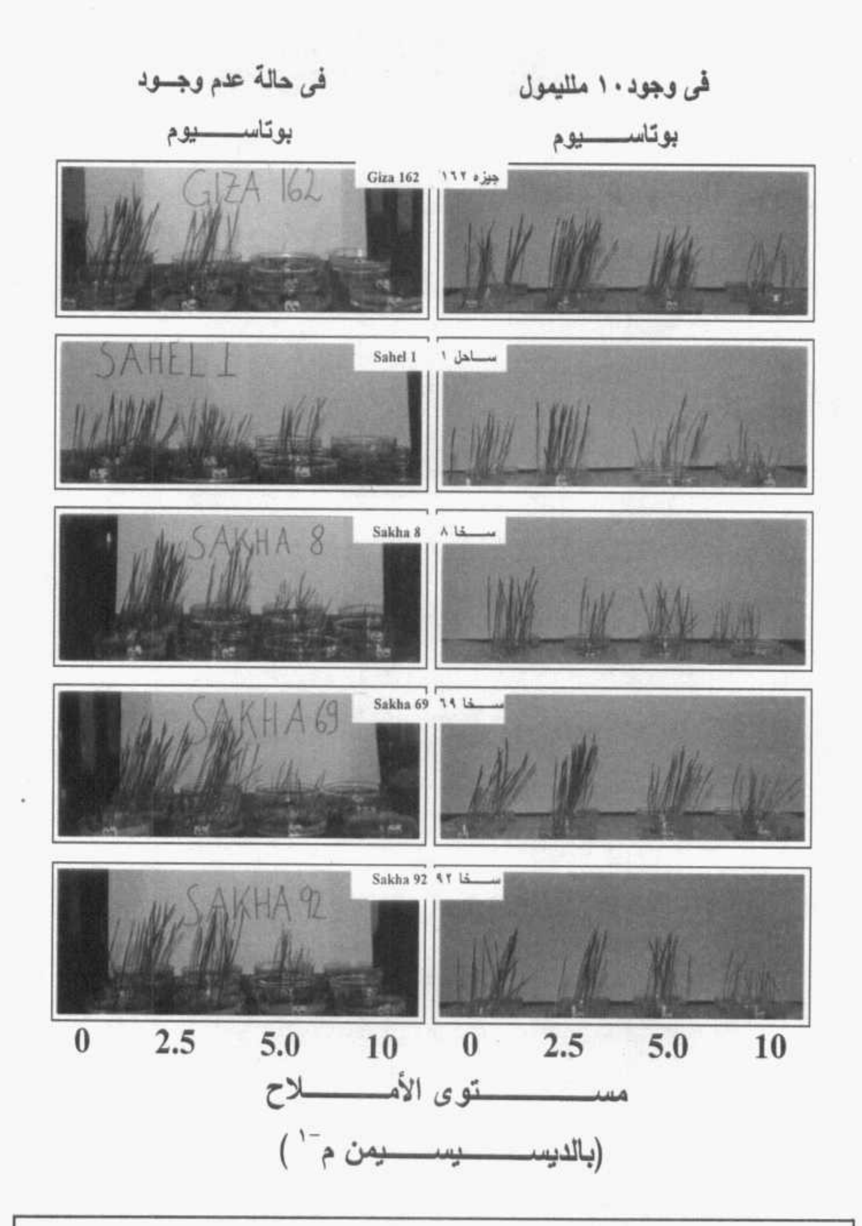


أعراض نقص الموليبدنم على نباتات الخيار

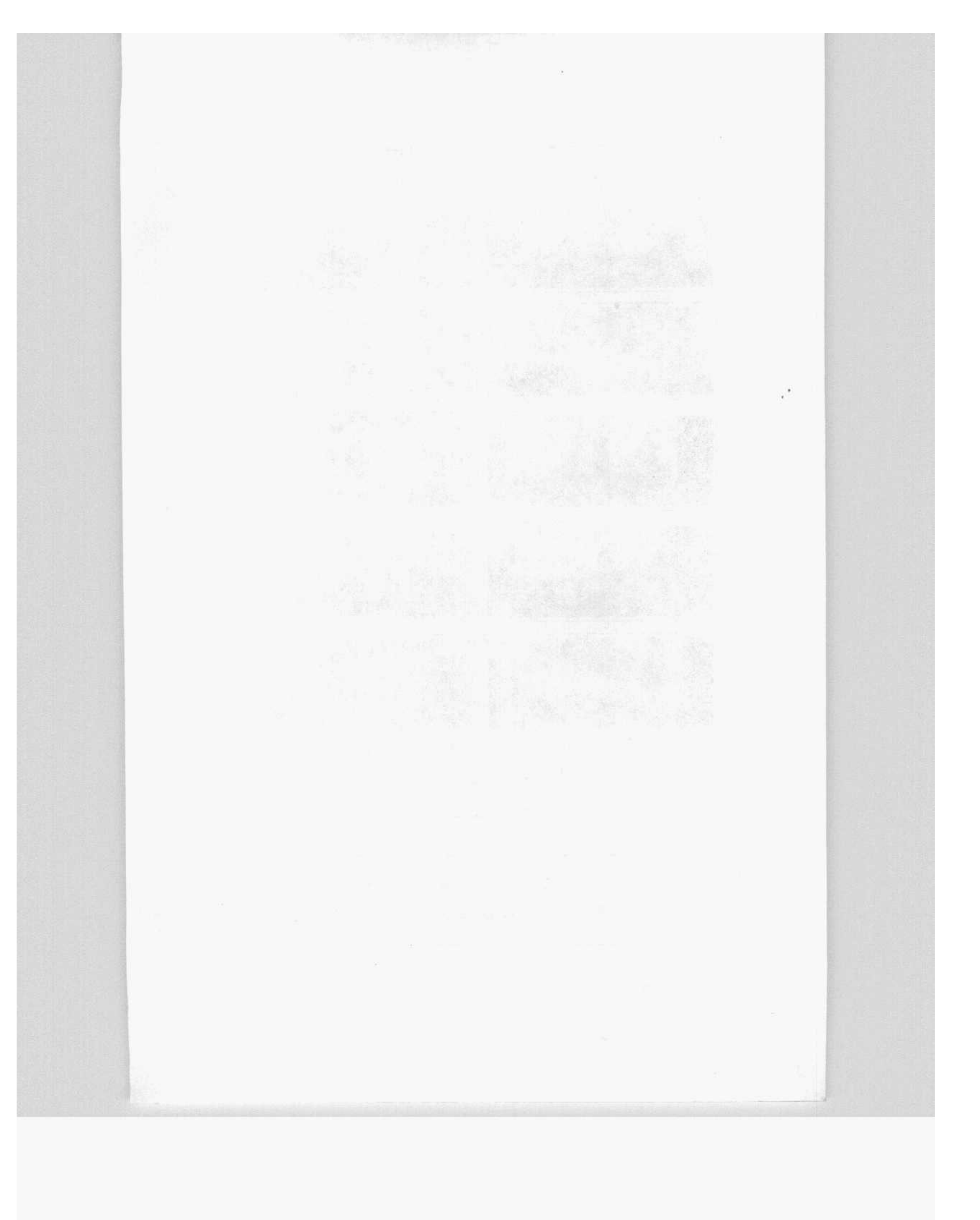


أعراض نقص الموليبدنم على أوراق الخس

نماذج لأعراض نقص عنصر الموليبدنم Mo علي بعض النباتات



شكل (٨ – ٥): تأثير إضافة البوتاسيوم على تحسين نسبة الإنبات لبعض أصناف القمح المصرى تحت مستويات عالية من الملوحة.



المـــراجـــع

أولاً : المراجع العربية

- **إبراهيم حسين السكرى، كيمان فواز، حسن الشيمى (١٩٨٨)** . «أساسيات خصوبة الأرض وتغذية النبات» . مركز الشنهابى للطباعة والنشر – الإسكندرية .
- **سعد محمود الشريف، طلعت محمد القبيه وعادل السيد اللبودى (١٩٨٧)** . «محاضرات فى تغذية النبات» مذكرات لشعبة الأراضى – كلية الزراعة – جامعة عين شمس .
- **سعد محمود الشريف، عادل السيد اللبودى وعبد المنعم الجلا (١٩٨٧)** . «كيمياء الأسمدة» مذكرات لشعبة الأراضى – كلية الزراعة – جامعة عين شمس .
- **سمير عبد الوهاب أبو الروس، محمدى إبراهيم الخرباوى وشوقى شبل هوله (١٩٩٢)** . «خصوبة الأراضى وتغذية النبات» التعليم المفتوح – جامعة القاهرة .
- **سمير عبد الوهاب أبو الروس ومحمد أحمد شريف (١٩٩٥)** . «الزراعة وإنتاج الغذاء بدون تربة» . دار النشر للجامعات المصرية – مكتبة الوفاء – القاهرة – مصر .
- **شفيق إبراهيم عبد العال، محمد عبد العزيز ضيف، رضا رجب شاهين وإبراهيم محمد حبيب (١٩٩٢)** . «كيمياء الأراضى» التعليم المفتوح – جامعة القاهرة .
- **عبد الغنى الباز (١٩٨٢)** . محاضرات فى فسيولوجيا النبات . قسم أمراض النبات، كلية الزراعة – جامعة المنيا .
- **عبد الفتاح إبراهيم الشعراوى، قاسم فؤاد السحار ومحمد عبد العزيز نصار (١٩٩١)** . «النبات الزراعى» التعليم المفتوح – جامعة القاهرة .
- **عبد المنعم بلبع (١٩٨٨)** . «خصوبة الأراضى والتسميد» دار المطبوعات الجديدة .
- **عبد الله زين العابدين (١٩٦٣)** . «أسس علم الأراضى» مكتبة الأنجلو المصرية – القاهرة – مصر .
- **عبد الله همام عبد الهادى (١٩٩٣)** . «العناصر الصغرى والأسمدة الورقية وتأثير إضافتها على إنتاجية المحاصيل الحقلية والبستانية فى الأراضى المصرية «معهد بحوث الأراضى والمياه – مركز البحوث الزراعية – جيزة .
- **عبد الله همام عبد الهادى (١٩٩٣)** . «البوتاسيوم وأثره على إنتاجية المحاصيل فى الأراضى المصرية» معهد بحوث الأراضى والمياه مركز البحوث الزراعية – جيزة .
- **كاظم مشحوت عواد (١٩٨٧)** . «التسميد وخصوبة التربة» المكتبة الوطنية – بغداد .
- **كامل سعيد جواد، محمد على حمزه وحسن كاظم علوش (١٩٨٨)** . «خصوبة التربة

والتسميد، المكتبة الوطنية – بغداد.

- **محاضرات فى أساسيات الأراضى (١٩٩٧)**. مقرر التدريب الدولى لتحليلات الأرض والنبات. قسم الأراضى – كلية الزراعة – جامعة المنيا – المنيا.

- **محاضرات فى تغذية النبات (١٩٨٧)**. قسم الأراضى – كلية الزراعة بكفر الشيخ – جامعة طنطا.

- **محمد أحمد معتوق (١٩٩٣)**. الرى بالرش والرى بالتنقيط. مكتبة الأنجلو المصرية – القاهرة – مصر.

- **محمد عاطف كشك (١٩٧٩)**. مدخل إلى علوم الأراضى. قسم الأراضى – كلية الزراعة – جامعة المنيا.

- **محمد كمال صادق، محمد السيد على، على عبد الحليم وعمر الحسينى (١٩٩٧)**. محاضرات فى تغذية النبات والأسمدة. قسم الأراضى والكيمياء الزراعية – كلية الزراعة بمشتهر – جامعة الزقازيق – فرع بنها.

- **محمد مصطفى الفولى وأحمد فوزى عبد الحميد (١٩٩٢)**. «أساسيات تغذية النبات والتسميد ومشاكل العناصر المغذية الصغرى فى مصر «مشروع العناصر المغذية الصغرى ومشاكل تغذية النبات فى مصر – المركز القومى للبحوث – الدقى – القاهرة.

- **لويس فيليب حنا (١٩٧٧)**. محاضرات فى تغذية النبات. قسم الأراضى – كلية الزراعة – جامعة المنيا.

- **هارى بكمان، نيل برادى (١٩٦٠)**. «طبيعة الأراضى وخواصها» ترجمة: أمين عبد البر، أحمد جمال عبد السميع، عبد الحليم الدماطى. مكتبة الأنجلو المصرية.

ثانيًا: المراجع الأجنبية

- **Aboulroos, S.A; M. A. Sherif and E.S. Abdel Moty (1995).** Plastic tubes for growing tomato plants in static nutrient solution culture (SNSC). Unpublished data.

- **Amberger, A. (1993 a).** Responsibility of Research a location and crop specific application of fertilizers. Proc. of German/ Egyptian/ Arab workshop: Environmentally Sound, Location and crop specific application of fertilizers in arid areas of North Africa and The Near East, 6-17 Cairo and Ismailia, Egypt.

- **Amberger A. (1993 b).** Dynamics of Nutrients and Reactions of Fertilizers applied on The Environment. Proc. of German/Egyptian/Arab workshop: Environmentally Sound, Location and crop specific application of fertilizers in arid areas of North Africa and The Near East, 6-17 Cairo and Ismailia, Egypt.

- **Asher, C.J. and G.W. Ozanne (1979).** Growth and potassium content of plant in solution cultures maintained at constant potassium concentrations. Soil Science, 103: 155-161.

- Awad, A.S.; D.G. Edeards and L.C. Campbell (1990). Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. Crop Sci., 30: 123-128.

- **Barber, S.A. (1962).** A diffusion and mass flow concept of soil nutrient availability. Soil Sci., 93-49.

- **Bernstein, L.; L.E. Francois and R.A. Clark (1974).** Interactive effect of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. Agron. J., 66:412-421.

- **Champagnol, F. (1979).** Relationships between phosphate nutrition of plants and salt toxicity. Phosphorus Agric. C., 76:35-43.

- **Charbonneau, A.; A. Gosselin and M.J. Trudel (1988).** Influence of electric conductivity and intermittent flow of the nutrient solutio on growth and yield. Soilless Culture, 4 (1): 19-30.

- **Chow, W.S.; M.C. Ball and J.M. Anderson (1990).** Growth and photosynthetic responses of spinach to salinity: Implications of K+ nutrition for salt tolerance. Aust. J. Plant Physiol., 17: 563-578.

- **Clement, C.R.; M.J. Hopper; R.J. Canaway and L.H.P. Jones (1974).** A system for measuring the uptake of ions by plants from flowing solutions of controlled composition. J. Exp. Botany, 25:81-99.

- **Cooper; A. (1979).** The ABC of NFT. Grower books, London. **Dreschel, T.W. and J.C. Sager (1989).** Control of water and nutrients using a porous tube: A method for growing plants in space. Hort Science, 24 (6): 944-947.

- **El-Beshbeshy, T.R. (1990).** Studies on Phosphorus availability in agricultural soils. Ph.D. Thesis Minia Uni. Minia, Egypt.

- **El-Beshbeshy, T.R. (1994).** Effect of Ca-Silicate slag on yield and uptake of

phosphorus by barley plants grown in newly reclaimed soil. Alex. sci. Exch. 15 (4): 465-476.

- **El-Beshbeshy, T.R.; M.A. Sherif and T.M. Mosalem (1993).** The effect of Ca-silicate slag, sulfur and poultry manure on the availability of phosphorus from superphosphate added to alluvial and highly calcareous soils.

- **FAO (1983).** Micronutrients. FAO Fertilizer and plant nutrition Bulletin 7. Land and Water Development Division, Rome.

- **FAO (1984).** Fertilizer and plant nutrition. FAO Fertilizer andplant nutrition Bulletin 9. Land and Water Development Division, Rome.

- **Follett, R.H.; L.S. Murphy and R.L. Donahue (1981).** Fertilizers and Soil Amanment. Englewood Cliffe, New Jersy 07632.

- **Foth, H.D. (1978).** Fundamentals Of Soil Science. JOHN WILEY & SONS, New York.

- **Gericke, W.F. (1929).** Fertilization unit for growimg plants in water, United State Patent, 1,915, 884.

- **Grattan, S.R. and C.M. Grieve (1993).** Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments: Handbook of Plant and Crop Stress (M.Pessarakli, ed.), Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 203-226.

- **Hewitt, E.J. (1969).** Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Technical communication No. 22, Garnham Royal, Commonwealth Agric. Bureaux.

- **Imai, H. (1986).** AVRD noncirculating hydroponics system. Taiwan AVRDC. Unpublished report.

- **Janzen, H.H. and C. Chang (1987).** Cation nutrition of barley as influenced by soil solution composition in a saline a saline soil. Can. J. Soil Sci., 67: 619-629.

- **Kafkafi, U. (1984).** Plant nutrition under saline conditions: Soil Salinity Under Irrigation Processes and Management (I. Shainberg and J. Shalhevet, eds.), Springer-Verlag, Berlin, pp. 319-338.

- **Khasawneh, F.E., E.C. Sample and E.J. Kamprath (1980).** The Role of

Phosphorus in Agriculture. American Soc. of Agr., Crop Sci. Soc. Am., & Soil Sci. soc. Am., Madison, Wiscnsin 53711 USA.

- **Landon, J.R. (1984).** Booker Tropical Soi Manual. A handbook for survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Booker Agriculure International Limited..
- **Marschner, H. (1995).** Mineral Nutrition of Higher plants. Academic Press Limited, London NW1 7 DX.
- **Mass, E.V. (1990).** Crop salt tolerance: Agricultural Salinity Assessment and Management (K.K. Tanji, ed.), ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices, No. 71, ASCE, New York, pp. 262-304.
- **Mengel, K. & E.A. Kirkby (1987).** Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Botash Institute. Bern, Swizerland.
- **Mengel, K. (1991).** Ernahrung Und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag Jena.
- **Nemeth, K. and T. Harrach (1974).** Interpretation der chemischen Bodenuntersuchung bei Lossboden verschiedenen Erosionsgrades. Land. Forsch. Forsch. 24, Sdh. 30/1, 131-137.
- **Rush, D.W. and E. Epstein (1981).** Comparative studies on the sodium, potassium and chloride relations of a wild halophytic and domestic salt-sensitive tomate species. Plant Physiol., 68: 1308-1313.
- **Russl, E.W. (1978).** Soil Condition and Plant growth. 10 th. Edition Longman.
- **Saalbach, E.; K. Wurtele; P.W. Kurten and H. Alger (1970).** Schwefel, Natrium, Magnesium, Landw. Schriftenr. Nr. 14, Ruhrstickstoff, Buchum.
- **Sauchell, V. (1969).** Trace Elements in Agriculture. Van nostrand Reinhold Company, New York, N.Y. 10001, USA.
- **Schofield, R.K. (1955).** Can a precise meaning be given to "available" soil phosphorus? Soils Fert. 28, 373-375.
- **Schroeder, D. (1984).** Soils- Facts and Concepts. Translated from German and adapted by: Gething, P.A., Int Potash Institute, Bern, Switzerland.
- **Schroder, F.G. (1987).** Plant plane hydroponic. The growing EDGE, 52-55.

- **Sherif, M.A. (1988).** Studies on Nutrient Film Technique. The influence of contrasting root zone temperatures on growth and yield of tomatoes and cucumber. Ph.D. Thesis, Fac. Agric., Minia Univ., Minia, Egypt.

- **Sherif, M.A. (1994).** Desgines and modifications of hydroponic techniques for arid regions. Unpublished.

- **Sherif, M.A. (1997 a).** Adaptation of tomato plants to tolerate saline conditions in sand medium and hydroponics. Zagzig J. Agric. Res., 24 (4): 727-739.

- **Sherif, M.A. (1997 b).** Effeect of sodium chloride and potassium sulfate on the adaptation of tomato plants to tolerate saline conditions. Annals of Agric. Sci., Moshtohor, Zagzig Univ. (Banha Branch), In press.

- **Sherif, M.A; H.A. Hassan; M.A. Kishk and T.R. El-Beshbeshy (1992).** Hydroponic Development in Egypt: Static deep water culture (SDWC) in open field. 8 th International Congress on Soilless Culture, 391-398.

- **Sherif, M.A.; Loretan and H.Aglan (1993).** Hydroponic Development in Egypt: Slagwool is a new hydroponic substrate. Minia J. Agric. Res. & Dev., 15 (2): 365-379.

- **Sherif, M.A.; T.R. El-Beshbeshy and C. Richter (1998).** Response of some Egyptian varieties of wheat (Triticum aestivum L.) to salt stress through potassium application. Bull Fac. Agric., Cairo Univ., 49 (1): In press.

- **Stoughton, (1969).** Soilless cultivation and its application to commercial horticultural crop production. Food and Agric. Organisation, United Nations, Rome, 61 pp.

- **Tisdale, S.L.; and W.L. Nelson (1975).** Soil Fertility and Fertilizers. Macmillan publishing Co. New York, USA.

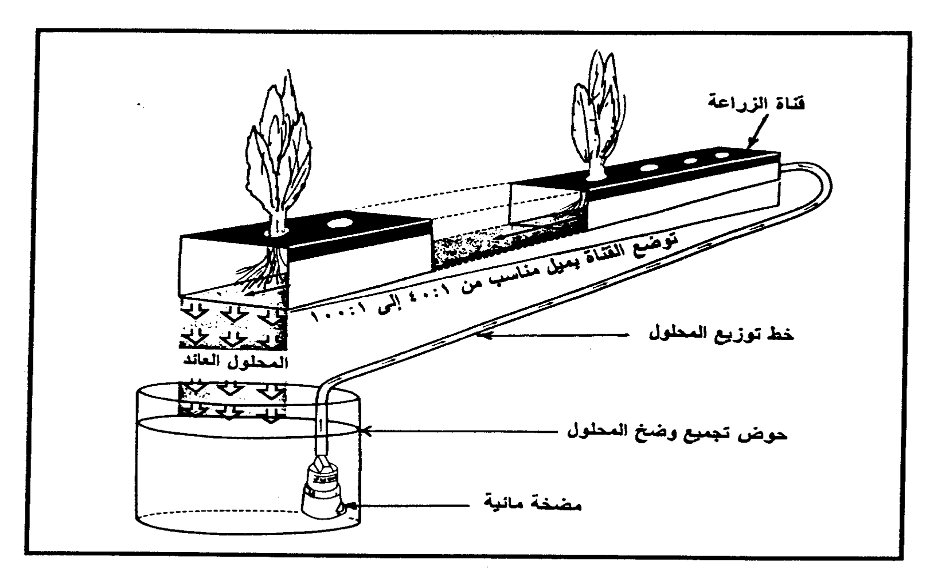
- **White, R.E. (1987):** Introduction to the Principles and Practice of Soil Science. Blacwell Scientific Publications. Osney Mead, Oxford OX20EL, London, WCIN2ES.

- **Zanouny, I; T.R. El-Beshbeshy and M.A. Sherif (1994).** Profitability of using Ca-silicate slag for production of corn. Minia J. Agric. & Dev., Vol. 16, No. 4: 1397-1408.

تصويب الأخطـــــــاء

الصفحة	موضع الخطأ	الخطأ	الصواب
٢٧	سطر ١٥ من أعلى	كمـا زادت كميــة الطيــن بالأرض	كلما زادت كمية الطيــن بالأرض
٣٠	السطر الرابع من أعلى	البني الأسود	البني و الأسود
٣١	سطر ١٢ من أعلى	حركة الجدور	حركة الجذور
٤٣	داخل شكل (٢-٢)	عامل السعة عامل الكمية	عامل الشدة عامل الكمية أو السعة
٥٢	سطر ١٧ من أعلى	الأومنيوم	الألومنيوم
٥٣	السطر العاشر من أعلى	Sail	Soil
٨٠	السطر السابع من أعلى	من نسج الجذور	من نسيج الجذور
٨٩	السطر الأول من أسفل	الكسييرية	الكسبيرية
٩٧	في جدول (٤-٢) الجـزء الأول من الجدول	العنــاصر الصغـــرى (جم/طن	العنـــاصر الكـــبرى (كجم/طن ....
١٢٦	في جدول (٤-٩) العمـود الثاني	٣,٤٦٩ ٤,١٩٠ ٨,١٥٠	٤٦٩,٣ ١٩٠,٤ ١٥٠,٨
١٣٦	سطر ١٤ من أعلى سطر ١٩ من أعلى	اليوريا $(NH_4)_2CO$ $(NH_4)_2CO$	اليوريا $(NH_2)_2CO$ $(NH_2)_2CO$
١٤٩	السطر التاسع من أعلى	٠,٣ جزء في المليون	٠,٠٣ جزء في المليون
٢٣٣	سطر ٢٠ من أعلى	هناك مدى واضع	هناك مدى واسع
٢٣٦	السطر العاشر من أعلى	حاسية	حساسية
٢٥٦	السـطر الثـاني بعـد شـكل (٧-١)	اختلافاً في محتواها	اختلافاً كبيراً في محتواها
٢٦٢	في جدول (٧-١١) العمـود الثاني	الجزء الثاني	الجزء النباتي

الصفحة	موضع الخطأ	الخطأ	الصواب
٣٠٧	السطر الرابع من أسفل	أغراض	أعراض
٣١٣	السطر الثالث من أعلى	تفاعله	تفاعلها
٣١٤	السطر السادس من أعلى	الأحماض الأمنية	الأحماض الأمينية
٣١٥	السطر الثالث من أسفل	"فالواضح أن ديناميكية الإدمصاص أو الترسيب" توضع قبل جملة "تكون بطيئة نسبياً"	
٣١٧	السطر الرابع من أسفل	ولقد وجد Janzen and Chang سنة ١٩٨٧	
٣١٩	السطر الثاني من أسفل	الكوريد	الكلوريد
٣٢٠	السطر السادس من أسفل	وبالإضافة إلى الظروف البيئية،	بالإضافة إلى الظروف البيئية.
٣٢٢	السطر الأول من أعلى	Dought stress	Drought stress
٣٣٦ ، ٣٣٩	في جدول ٩-٢ ، وفي جدول ٩-٣	النحاس Coper	النحاس Copper
٣٤٢	السطر الثالث والسادس من أعلى والثاني من أسفل	النتروجين ، نتيروجين ، نتروجين	النيتروجين ، نيتروجين ، نيتروجين [على الترتيب]
٣٤٣	السطر الثالث من أعلى	ذري	ذرة
٣٤٥	السطر الثاني من أسفل	البورن	البورون
٣٤٧	السطر ١٣ من أعلى	ب- الأملاح الذي	ب- الأملاح التي
٣٥٠	السطر ١٢ من أعلى	من الكبريتات المنجنيز	من كبريتات المنجنيز
٣٦٩	السطر الثامن من أسفل	طاولات توضع بيئة النمو	طاولات توضع بها بيئة النمو
٣٧٥	السطر السادس من أسفل	إحدى طرق الزراعة طرق الزراعة بالمحاليل	إحدى طرق الزراعة بالمحاليل
٣٧٦	في شكل (١٠-٤)	تكرار لشكل (١٠-٥)	شكل (١٠-٤) عبارة عن نموذج للشكل العام لقناة واحدة من قنوات NFT



شكل (١٠-٤): الشكل العام لقناة الزراعة والتغذية بنظام الأغشية المغذية

الصفحة	موضع الخطأ	الخطأ	الصواب
٣٧٩	السطر ١١ من أعلى	التدقق	التدفق
٣٨١	السطر الرابع من أعلى	Vermiclit	Vermiculite
٣٩٣	السطر السابع من أعلى	عى درجة	على درجة
٣٩٥	شكل (١٠-٩)	عينات من بيذات	عينات من بيئات
٣٩٨	السطر الرابع من أعلى	بالزرعة فيه	بالزراعة فيه
٤٠٢	السطر الثالث من أعلى	وإنما يكورن	وإنما يكون
٤٢٣	السطر العاشر من أعلى	بما يمسح	بما يسمح
٤٣٠	أول سطر بعد شكل (١٠-٢٢)	مقابل ٠,٠٥٧ جم/سم^{٣}	مقابل ٠,٠٧٥ جم/سم^{٣}
٣٤٣	السطر الثالث من أعلى	ذري	ذرة
٤٣٦	السطر الرابع من أسفل	Close system	Closed system

الصفحة	موضع الخطأ	الخطأ	الصواب
٤٣٩	شكل (١٠-٢٧)	مكعبات الرنبات	مكعبات الإنبات
٤٤١	السطر الرابع من أعلى	رفم الـ pH	رقم الـ pH
٤٤٣	السطر ١٣ من أعلى	شجبرات الورد	شجيرات الورد
٤٤٤	السطر الرابع من أسفل	من تشييع وسائد النمو	من تشبع وسائد النمو
٤٥٢	تابع جدول ٣ في الملاحق	kg^{-1} Cmol	Cmol kg^{-1}
٤٧٠	**أعراض نقـص الكالسيوم** الشكل الأعلى الشكل الأسفل	على أوراق وثمار الخيار على نباتات الخس	على نباتات الخس علـى أوراق وثمـار الخيار